

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.М. Мельник

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

**на тему: «Модернізація анаеробного біореакторів установки
очищення стічної води»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи БІ-91мп
Остапенко Наталія Володимирівна

Керівник:

Доктор технічних наук, професор
Мельник В.М.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою.

Спеціальність (спеціалізація) – 133 «Галузеве машинобудування»
(«Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ В. М. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Остапенко Наталії Володимирівні

1. Тема дисертації: «Модернізація анаеробного біореакторів установки очищення стічної води», науковий керівник дисертації Мельник Вікторія Миколаївна, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р.
№ _____
2. Строк подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: біореактор з іммобілізованою мікрофлорою.
4. Предмет дослідження: кінетику процесу очищення стічної води в біореакторах з іммобілізованою мікрофлорою.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідження стану проблеми за темою дисертації, провести літературний огляд; розробити математичну модель процесу очищення стічної води в біореакторі з іммобілізованою мікрофлорою; розробити комп'ютерну модель біореактора; провести тепловий та конструктивний розрахунок біореактора; розробити стаптрап-проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Установка очищення стічної води виробництва кормових дріжджів. Апаратурно-технологічна схема (A1); Біореактор анаеробний. Складальне креслення (A1, 2 кр.); Секція завантаження. Складальне креслення (A1); Теплообмінний елемент (A2); плакати за темою магістерської дисертації.

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Літературний огляд. Дослідження стану проблеми		
2.	Патентний пошук		
2.	Математичне моделювання процесу		
4.	Розрахунок математичної моделі та обробка результатів.		
5.	Комп'ютерне моделювання біореактора		
6.	Практична реалізація. Оформлення креслень та документації на біореактор		
7.	Розробка стартап-проекту		
8.	Оформлення пояснювальної записки. Розробка плакатів за темою магістерської дисертації		

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Атестаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему: «Модернізація анаеробного біореакторів установки очищення стічної води» / НТУУ «КПІ»; Керівник д.т.н., професор Мельник В.М. - К., 2020. – 136 с.: іл. – 41. Виконавець Остапенко Н.В. – Бібліогр.: 52 п.

Магістерська дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку умовних позначень та скорочень, переліку посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 136 сторінок, 38 рисунків, 5 таблиці, 2 додатків і перелік посилань з 66 найменувань.

Актуальність. Однією з суттєвих проблем, що виникає в процесах біотехнологічних, фармацевтичних, харчових виробництв є великі обсяги стічної води, що містять значну кількість органічних забруднень. Для вирішення цієї проблеми набули поширення процеси біологічного очищення стічної води від органічних відходів, які є одним з найбільш прогресивних, економічно ефективних і екологічно прийнятних способів запобігання забруднення навколишнього середовища. При біологічному очищенні води використовують аеробні та анаеробні процеси і обладнання для їх здійснення. Для інтенсифікації анаеробного очищення стічної води останнім часом застосовуються процеси в обладнанні з прикріпленими мікроорганізмами, які здійснюються в біореакторах з іммобілізованою (прикріпленою) мікрофлорою. Актуальним є розроблення нових конструкцій біореакторів, в яких досягається необхідний ступінь очищення стічної води за участі прикріплених мікроорганізмів при значно менших витратах коштів на будівництво, експлуатацію та матеріально-енергетичні ресурси.

Отже, мета роботи – модернізація анаеробних біореакторів іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води.

Об'єктом дослідження обрано біореактор з іммобілізованою мікрофлорою, а предметом дослідження - кінетику процесу очищення стічної води в біореакторах з іммобілізованою мікрофлорою.

Методи досліджень: теоретичний аналіз кінетики процесу деградації органічних забруднень в анаеробному біореакторі з іммобілізованою мікрофлорою, комп'ютерне моделювання анаеробного біореактора та елементів його конструкції.

Результати роботи. В роботі описано процес анаеробного очищення стічної води в обладнанні з іммобілізованими мікроорганізмами і конструкція біореактора, в якому досягається необхідний ступінь очищення стічної води при значно менших витратах коштів на будівництво, експлуатацію та матеріально-енергетичні ресурси.

Новизна роботи полягає в розробленні нової конструкції теплообмінного пристрою анаеробного біореактора для забезпечення необхідного температурного режиму роботи біореактора.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами проведеного дослідження спроектований анаеробний біореактор з іммобілізованою мікрофлорою. Конструкція апарату дозволяє забезпечити необхідний ступінь очищення стічної води прикріпленими до нерухомих носіїв мікроорганізмами при суттєвому зменшенні витрат коштів на будівництво, експлуатацію та матеріально-енергетичні ресурси.

БІОРЕАКТОР, МІКРООРГАНІЗМИ, ОРГАНІЧНІ ЗАБРУДНЕННЯ, СТІЧНА ВОДА, КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ, ПЛОЩИННЕ ЗАВАНТАЖЕННЯ, ІММІБІЛІЗОВАНА МІКРОФЛОРА.

ABSTRACT

Certification work of educational and qualification level "master" on the topic: "Improvement of anaerobic bioreactor of wastewater treatment plant" / NTUU "KPI"; Head, Doctor of Technical Sciences, Professor Viktoriya Melnyk - K., 2020. - 136 pp.: ill. - 41. Performer Nataliya Ostapenko - Bibliogr.: 53 p.

The master's dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of symbols and abbreviations, a list of references and appendices. The full volume of the work is 136 pages, 38 figures, 5 tables, 2 appendices and a list of links from 66 items.

Topicality. One of the significant problems that arises in the processes of biotechnological, pharmaceutical, food production is the large volume of wastewater containing a significant number of organic pollutants. To solve this problem the processes of biological wastewater treatment from organic waste have become widespread, which are one of the most progressive, cost-effective and environmentally friendly ways to prevent environmental pollution.

Aerobic and anaerobic processes and equipment are used in biological water treatment. The processes, which are carried out in bioreactors with immobilized (attached) microflora have recently been used in equipment with attached microorganisms to intensify anaerobic wastewater treatment. It is important to develop new designs of bioreactors, which achieve the required degree of wastewater treatment with the participation of attached microorganisms with much lower costs for construction, operation and material and energy resources.

Therefore, the purpose of the work is to improve an anaerobic bioreactors with immobilized microflora for wastewater treatment.

The object of the study is a bioreactor with immobilized microflora, and the subject of the study was the kinetics of the wastewater treatment process in bioreactors with immobilized microflora.

Research methods: theoretical analysis of the kinetics of the process of degradation of organic pollutants in an anaerobic bioreactor with immobilized microflora, computer modeling of an anaerobic bioreactor and its structural elements.

Results of work. The paper describes the process of anaerobic wastewater treatment in equipment with immobilized microorganisms and the design of a bioreactor, which achieves the required degree of wastewater treatment with much lower costs for construction, operation and energy resources.

The novelty of the work is to develop a new design of the heat exchange device of the anaerobic bioreactor to ensure the required temperature of the bioreactor.

The practical significance of the results. According to the results of the study, an anaerobic bioreactor with immobilized microflora was designed. The design of the device allows to provide the necessary degree of sewage treatment by microorganisms attached to fixed carriers at essential reduction of expenses of means for construction, operation and material and energy resources.

BIOREACTOR, MICROORGANISMS, ORGANIC POLLUTIONS, WASTEWATER, PROCESS KINETICS, PLANE LOADING, IMMIBILIZED MICROFLORA.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП	14
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	16
1.1 Аналіз біологічних методів очищення стічної води	16
1.2. Аналіз теоретичних досліджень кінетики метанового збродження органічного субстрату	30
1.3 Аналіз конструкцій анаеробних біореакторів	34
1.4. Особливості носіїв мікрофлори.....	40
1.5. Вибір дослідної конструкції біореактора	47
1.6. Висновки	50
1.7. Постановка задач дослідження	51
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ В БІОРЕАКТОРІ З ІММОБІЛІЗОВАНОЮ БІОМАСОЮ	52
2.1. Результати розрахунків.....	59
2.2. Висновки	60
3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	62
3.1. Побудова 3D-моделі біореактора.....	62
3.2. Дослідження конструктивних елементів біореактора	63
3.3. Аналіз результатів моделювання	66
3.4. Висновок	67
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	68
4.1. Опис технологічного процесу очищення стічної води виробництва	68
4.2. Призначення та область застосування апаратів	70

4.3.	Технічна характеристика біореактора з іммобілізованою мікрофлорою ..	72
4.4.	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції біореактора з іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води	73
4.4.1.	Розрахунок площі поверхні завантаження біореактора з іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води	73
4.4.2.	Розрахунок числа секцій завантаження	74
4.4.3.	Розрахунок кількості біогазу	76
4.4.4.	Перевірка швидкості потоку рідини у біореакторі	77
4.4.5.	Тепловий розрахунок реактора	78
4.4.5.1.	Визначення теплового навантаження теплообмінних пристроїв біореактора	78
4.4.5.2.	Розрахунок поверхні теплообміну теплообмінних пристроїв біореактора.....	80
4.5.	Конструктивний розрахунок біореактора.....	84
4.5.1.	Розрахунок фланцевого з'єднання	85
4.6.	Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації.....	91
4.6.1.	Компоновка та монтаж	91
4.6.2.	Випробування.....	92
4.6.3.	Вимоги до експлуатації апарату.....	93
4.7.	Висновки	93
5.	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	94
5.1.	Резюме.....	93
5.2.	Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства	96
5.3.	Аналіз потенційного ринку збуту.....	98

5.4. Місце розробки у системі цінностей підприємства за методом Бостонської матриці.....	99
5.5. Методом Шонфільда визначити ключові фактори успіху проекту.....	100
5.6. Анкета для споживачів.....	101
5.7. Договір на виконання НДР.....	102
5.8. Оцінка ринкових пропозицій інноваційної розробки.....	105
5.8.1. Джерела фінансування науково-дослідної розробки (НДР).....	105
5.8.2. Калькуляція собівартості.....	106
5.9. Методи ціноутворення.....	108
5.9.1. Витратний метод.....	108
5.9.2. Параметричний метод.....	108
5.9.3. Конкурентний метод.....	109
5.9.4. Метод точки беззбитковості.....	109
5.10. Оцінка ризиків та страхування розробки.....	110
5.10. Висновки	113
ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	115
ДОДАТОК А. Патентний пошук	
ДОДАТОК Б. Специфікації	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

W_z – швидкість потоку рідини в каналі, м;

$S_{01, \text{кг}_{\text{ГЛК}}/\text{м}^3}$ – еквівалентна концентрацію глюкози;

X – сумарна концентрація біомаси в біоплівці;

X_1 – концентрація кислотогенної біомаси в біоплівці;

X_2 – концентрація метаногенної біомаси в біоплівці;

$S_{\text{БП1}}$ – середня концентрація глюкози в біоплівці;

$S_{\text{БП2}}$ – середня концентрація оцтової кислоти в біоплівці;

S_l – середня по перерізу каналу концентрація глюкози в стічній воді.

μ_1 – максимальна швидкість зростання кислотогенних бактерій, год^{-1} ;

μ_2 – максимальна швидкість зростання метаногенних бактерій, год^{-1} ;

Y_{X1} – максимальний приріст біомаси кислотогенних бактерій, що споживають глюкозу, $\text{г} \cdot \text{г}^{-1}$;

Y_{X2} – максимальний приріст біомаси метаногенних бактерій, що споживають глюкозу, $\text{г} \cdot \text{г}^{-1}$;

K_{S1} – постійна напівнасичення кислотогенних бактерій, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_{S2} – постійна напівнасичення метаногенних бактерій, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_m – константа насичення виробництва метану, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_{I_m} – постійна інгібування процесу виробництва метану оцтовою кислотою, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_{mX1} – постійна насичення у виразі споживання глюкози для перетворення в енергію, що необхідна для підтримки життєдіяльності кислотогенних бактерій, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_{mX2} – постійна насичення у виразі споживання глюкози для перетворення в енергію, що необхідна для підтримки життєдіяльності метаногенних бактерій, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_{SX1} – постійна у виразі зростання кислотогенних бактерій, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

K_{SX2} – постійна у виразі зростання метаногенних бактерій, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$;

- Y_{S1} – максимальна швидкість перетворення глюкози в оцтову кислоту, $г \cdot г^{-1}$;
 Y_{S2} – максимальна швидкість перетворення оцтової кислоти в метан, $г \cdot г^{-1}$;
 V_{max} – максимальна швидкість виробництва 1г метану метаногенними бактеріями за добу, $г \cdot г^{-1} \cdot год^{-1}$;
 С-1 – ємність для попереднього утримання субстрату;
 Зм-2 – змішувач;
 Н-3, Н-7 – насос;
 М-4 – метантенк;
 Г-5 – газгольдер;
 К-6 – когенератор;
 К-8 – компресор;
 Аб-9 – абсорбер;
 Ф-10 – фільтр для видалення осаду;
 Ма-11 – мембранний апарат;
 З-12 – збірник для відпрацьованого субстрату;
 Ц-13 – центрифуга;
 Сш-14 – барабанна сушарка;
 СР – сухі речовини;
 $t_{проц}$ – температура процесу, $^{\circ}C$;
 c – теплоємність, $Дж/кг \cdot ^{\circ}C$;
 ρ – густина, $кг/м^3$;
 λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/(м \cdot ^{\circ}C)$;
 μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, $Па \cdot с$;
 K – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot K)$;
 α – коефіцієнт тепловіддачі, $(м^2 \cdot K)/Вт$;
 δ – товщина стінки, $м$;
 Re – критерій Рейнольдса;
 b/τ – швидкість виходу біогазу, $м^3/(м^3 \cdot доба)$;

$V_{\text{роб}}$ – робочий об’єм абсорбера, м^3 ;

D – діаметр апарата, мм ;

H – висота заповнення апарата, м ;

n – частота обертання мішалки, хв^{-1} ;

$d_{\text{м}}$ – діаметр мішалки, м ;

$\rho_{\text{р}}$ – густина розчину моноетаноламіну, $\text{кг}/\text{м}^3$;

N – потужність, що витрачається мішалкою, Вт ;

β_p – коефіцієнт масовіддачі при фізичній абсорбції;

a – питома поверхня контакту фаз;

α – ступінь карбонізації розчину;

ВСТУП

Стічна вода біотехнологічних виробництв утворюється безпосередньо в процесі виробництва, або при митті технологічного обладнання. Забрудненість стічної води органічними сполуками, виражена у величині ХСК, являє собою залишки або втрати вихідної сировини, або залишки виробленого продукту, і тому такі забруднення добре розкладаються біологічним шляхом.

Анаеробні методи переробки стічної води відрізняються тим, що 90% споживаних органічних сполук переводяться в продукти метаболізму, основною складовою яких є цінний енергоносіє – метан, і тільки 10% - перетворюються в біомасу. Це обумовлює перспективність використання анаеробних методів очистки промислової стічної води [1-3].

Анаеробні методи очищення дозволяють значно скоротити затрати на експлуатацію установки, так як не потребуються затрати на аерацію середовища, значно знижуються затрати на утилізацію відпрацьованого активного мулу завдяки порівняно невеликій його кількості, знижуються витрати на обслуговування. В деяких випадках можливо отримати додатковий прибуток від використання утвореної на установці енергії.

Анаеробний процес проходить в біоенергетичних установках (БЕУ), які є складною системою технологічних процесів як фізико-хімічної, так і біологічної природи (процеси, пов'язані з життєдіяльністю мікроорганізмів). Постійний прогрес технології анаеробного розкладу приводить до розвитку нових технічних рішень в цій сфері, зокрема, одноємнісні типи біореакторів замінюють на багатоемнісні, одностадійні схеми процесу — на двостадійні, поряд із технологічними схемами з високою одиничною потужністю застосовують модульні установки тощо. Сучасні розробки в області інтенсифікації анаеробних процесів фокусуються на стабілізації метаногенезу та зменшенні габаритів установки, що досягається в анаеробних біореакторах з іммобілізованою мікрофлорою.

Ефективність роботи біореактора в значній мірі визначається конструкцією і режимами його роботи. Вдосконалення існуючих конструкцій ведеться у сфері об'єднання переваг різних конструкцій реакторів, вдосконаленні конструктивних елементів анаеробних біореакторів, зокрема завантаження та газовідвідних пристроїв.

В курсовому проекті розроблена конструкція біореактора, що працює за принципом анаеробного біофільтра з площинним завантаженням. Такі апарати компактні, дозволяють збільшити площу і час контакту біомаси та субстрату не зменшуючи продуктивність установки, вони прості в конструкції і регулюванні.

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Соціальні та економічні потреби в ефективних технологіях очищення стічної води вимагають вдосконалення існуючих та створення нових конструкцій біореакторів. В сучасній практиці біологічного очищення води використовують аеробні та анаеробні процеси і обладнання для їх здійснення, анаеробна деградація забруднень має ряд переваг: менший об'єм надлишкового мулу, менші габаритні розміри очисних споруд, виробництво біогазу [1-7].

1.1 Аналіз біологічних методів очищення стічної води

Аналіз сучасного стану очищення стічної води на очисних спорудах підприємств фармацевтичної і біотехнологічної промисловості, методів та технологічних схем очищення, показує доцільність підвищення ефективності біологічного очищення від органічних забруднень та біогенних сполук, із зменшенням витрат на будівництво та експлуатацію.

При аеробному процесі очищення стічної води необхідною умовою роботи реактора є неперервне введення кисню в процесі очищення. Це призводить до додаткових витрат і утворення великої кількості надлишкової біомаси, яку необхідно утилізувати. Анаеробні методи очищення стічної води відрізняються тим, що 90% споживаних органічних сполук переводяться в продукти метаболізму, основною складовою яких є цінний енергоносіє – метан, і тільки 10% - перетворюються в біомасу. Це обумовлює перспективність використання анаеробних методів очистки промислової стічної води.

Стічна вода біотехнологічних і фармацевтичних виробництв, яка утворюється або безпосередньо в процесі виробництва, або при митті технологічного обладнання, має різну ступінь забрудненості. Забрудненість стічної води органічними сполуками, виражена у величині ХСК, являє собою залишки або втрати вихідної сировини, або залишки виробленого продукту, і

тому такі забруднення добре розкладаються біологічним шляхом. При використанні біологічних методів потрібно розглянути, які переваги і недоліки, у тому числі і з точки зору економічної ефективності, мають анаеробний і аеробний методи очищення стічної води.

Останнім часом в літературі пропонуються комбіновані способи очищення стічної води з використанням аеробного і анаеробного очищення.

В літературі [8] запропонований спосіб глибокого біологічного очищення стічної води та станція глибокого біологічного очищення стічної води комбінованим біоценозом прикріпленої і вільноплаваючої мікрофлори, що складається з гетеротрофних і автотрофних мікроорганізмів, які діють в анаеробних, перехідних (аноксидних) і аеробних умовах, з подальшим доочищенням в аеробному реакторі дозволяє скоротити об'єми споруд за рахунок істотного збільшення питомих швидкостей біохімічних процесів, зниження кількості утворюються в процесі обробки активного мулу і опадів при скороченні часу очищення і витрати повітря на аерацію.

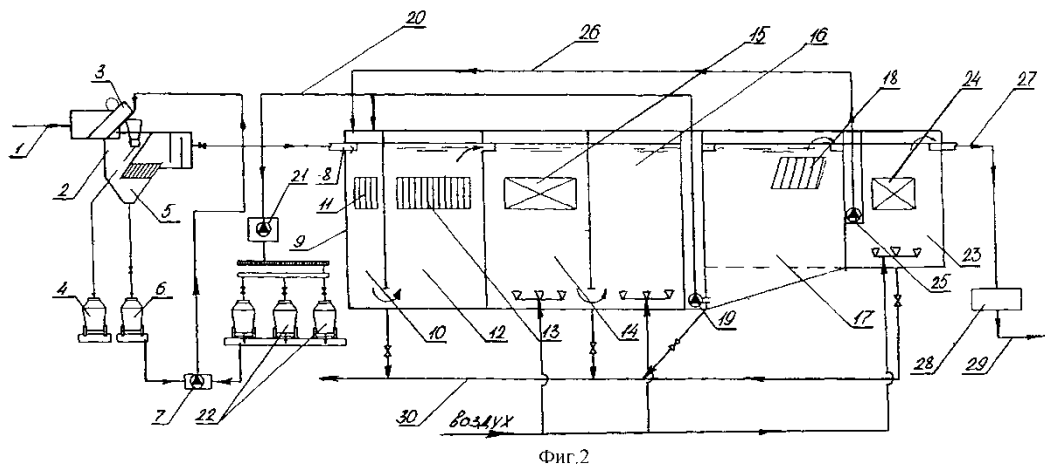


Рис. 1.1- Технологічна схема глибокого біологічного очищення води.

На рисунку 1.1 наведена технологічна схема глибокого біологічного очищення води, де 1 - подача забрудненої води на очищення; 2 - перша зона анаеробної обробки з використанням мікрофлори, прикріпленою на інертний завантажувальний матеріал 3, армований металом; 4 - друга зона анаеробної

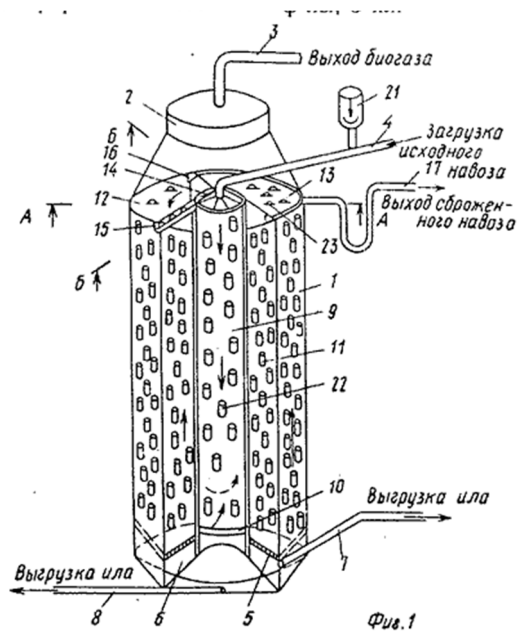
обробки з використанням мікрофлори, прикріпленою на інертний завантажувальний матеріал 5, армований металом; 6 - третя зона аеробного обробки з використанням мікрофлори, прикріпленою на інертний завантажувальний матеріал 7; 8 - четверта зона аеробного обробки з використанням вільноплаваючої мікрофлори; 9 - зона відстоювання з використанням тонкошарових модулів 10; 11 - рециркуляція очищеної в результаті відстоювання води, 12 - зона доочищення очищеної в результаті відстоювання води з використанням мікрофлори, прикріпленою на інертний завантажувальний матеріал 13; 14 - відведення води після доочищення; 15 - відведення опадів і спорожнення після промивання; 16 - рециркуляція активного мулу; 17 - відведення активного мулу.

Дозування порошкоподібних сорбентів і подача повітря в аеробні зони на рисунку 1.1 не показані.

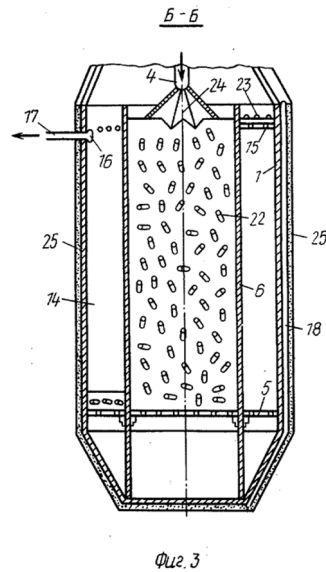
Дана схема очищення має наступні переваги: якісні показники очищеної води стабільні і, як правило, не перевищують по БСК₅ і зважених речовинах - 5,0 мг / л, по амонійного азоту - 0,4 мг / л, по нітратному азоту - 7,0 мг / л, по фосфатам - 0,5 мг / л і по ГПК - 30 мг / л.

В літературі [9] запропонована конструкція біофільтру, схема якого показана на рисунку 1.2. Представлений біофільтр, з резервуаром розділеним вертикальними перегородками, має конічне дно для збирання осаду. Перегородки утворюють центральну і радіальну секції. Одна з перегородок виконана суцільною і доходить до конусного дна, а інша розташована радіально і не доходить до перфорованого дна. Центральна секція виконана у вигляді розташованої уздовж центральної осі резервуара труби з вікном в нижній частині, що з'єднує трубу з однією з радіальних секцій. Секції забезпечені керамічної або пластикової завантаженням зі зростаючою питомою поверхнею в напрямку руху субстрату.

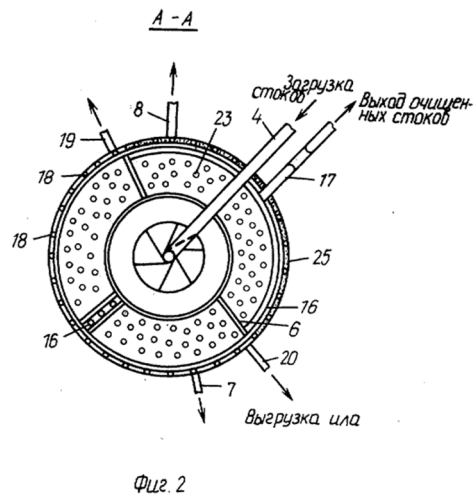
Для забезпечення стабільного температурного режиму роботи біофільтру зовні і навколо радіальних секцій встановлений теплообмінник.



Загальний вид



Розріз Б-Б



Розріз А-А

Рис.1.2 - Схема биофильтра с резервуаром разделенным вертикальными перегородками

На рисунку 1.2: резервуар - 1, разделенный вертикальными перегородками на центральную 9 и три радиальные секции 11,12,13, заполненные завантаженням. Пристрій також містить трубопроводи 4 і 17 для подачі і відведення стоків, мулопроводу 7 і 8, камеру 21 для внесення біомаси і теплообмінник.

Вихідна стічна вода по трубопроводу 4 надходить в центральну секцію 9, проходить шар завантаження.

Автори стверджують, що запропонована конструкція біофільтру дозволяє скоротити енергетичні витрати і підвищити ефективність процесу очищення висококонцентрованих стічних вод. Конструкція призначена для обробки стічної води сільськогосподарського виробництва, наприклад, вихідного свинячого гною.

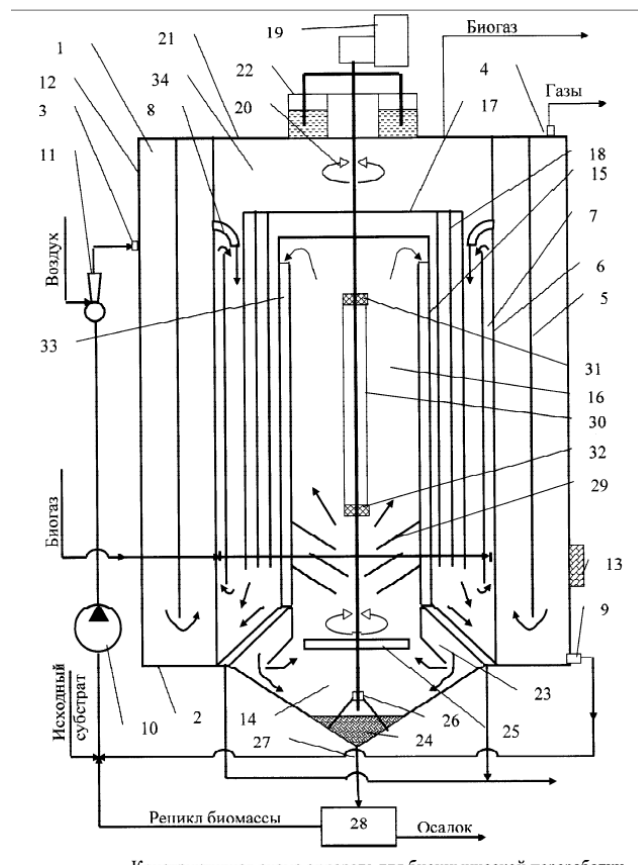


Рис. 1.3 - Схема апарату для біохімічної переробки рідких і напіврідких органічних субстратів

В [10] запропонована конструкція апарату для біохімічної переробки рідких і напіврідких органічних субстратів, схема якого показана на рисунку 1.3.

Апарат складається з анаеробної секції з низхідним потоком і іммобілізованої регулярної насадки з розміщеними в нижній частині секції зонами освітлення і

ущільнення біомаси із пристроєм. Зона освітлення гідравлічно з'єднана з входом анаеробного біофільтра. Анаеробний біофільтр розміщений коаксіально всередині корпусу анаеробної секції із загальною газовою частиною. Для іммобілізації біомаси в апараті передбачена регулярна насадка виконана у вигляді стрижнів з пористим покриттям.

Вихідними субстратами для біохімічної переробки в запропонованому апараті можуть бути осад з первинних відстійників, надлишковий активний мул аеротенків, тощо. Зовнішньої секцією є аеробна секція (біореактор) 1, що складається з кільцевого циліндричного корпусу 2, патрубка 3 для підведення вихідного рециркуляційного субстрату, патрубка 4 для відведення газів, напівзанурювальної перегородки 5. Внутрішня стінка 6 виконана спільної з анаеробної секцією (біореактор) 7 і має переливний патрубок 8. У нижній частині аеробного секції 1 передбачений патрубок 9, з'єднаний циркуляційним насосом 10. Нагнітальна сторона насоса 10 забезпечена трубою Вентурі 11 і пов'язана з одного боку з патрубком 3 і джерелом стисненого повітря. Зовнішня стінка 12 аеробного секції 1 забезпечена теплоізоляційним шаром 13. Анаеробна секція 7 складається з кільцевого циліндричного корпусу 14, зі стінками 6 і 15, причому стінка 15 виконана спільної з анаеробним біофільтром 16.

Іммобілізована на пористому покритті стрижнів 18 мікрофлора, здійснює переробку субстрату з утворенням проміжних (жирних кислот та інших органічних сполук) і цільових продуктів. Висока концентрація анаеробної мікрофлори, оптимальний режим перемішування і наявність гідролізованого органічного живлення дозволяє істотно інтенсифікувати анаеробний процес в порівнянні з аналогічними апаратами. Стабілізована біомаса надходить в зону освітлення 23, в якій одночасно відбуваються два процеси: дегазація біомаси за допомогою динамічного впливу на комплекс «зважена речовина - газовий міхур» при обертанні лопатевого перемішуючого пристрою, 25, і поступове осадження зваженої речовини під дією гравітації. У нижній (переважно

конусній) частини корпусу анаеробної секції 7 (зоні ущільнення 24) відбувається поступове накопичення і згущення біомаси з наступним її відведенням через патрубок 27 в розвантажувальний пристрій 28. При цьому частина біомаси може подаватися в аеробну секцію 1.

Рідка фаза із зони освітлення 23 надходить через лабіринтне ущільнення 29 в анаеробний біофільтр 16, в якому відбувається остаточний розпад нестабільної органічної речовини. Утворений біогаз накопичується в загальній для анаеробної секції 7 газовій частині 34 і далі відводиться на утилізацію в типове енергогенеруюче обладнання. Стабілізована рідка фракція через переливний пристрій 33 відводиться на наступну стадію обробки або утилізується.

В [11] запропонований пристрій для анаеробної і аеробної обробки концентрованих органічних рідин. Схема пристрою для анаеробної і аеробної обробки концентрованих органічних рідин наведена на рисунку 1.4.

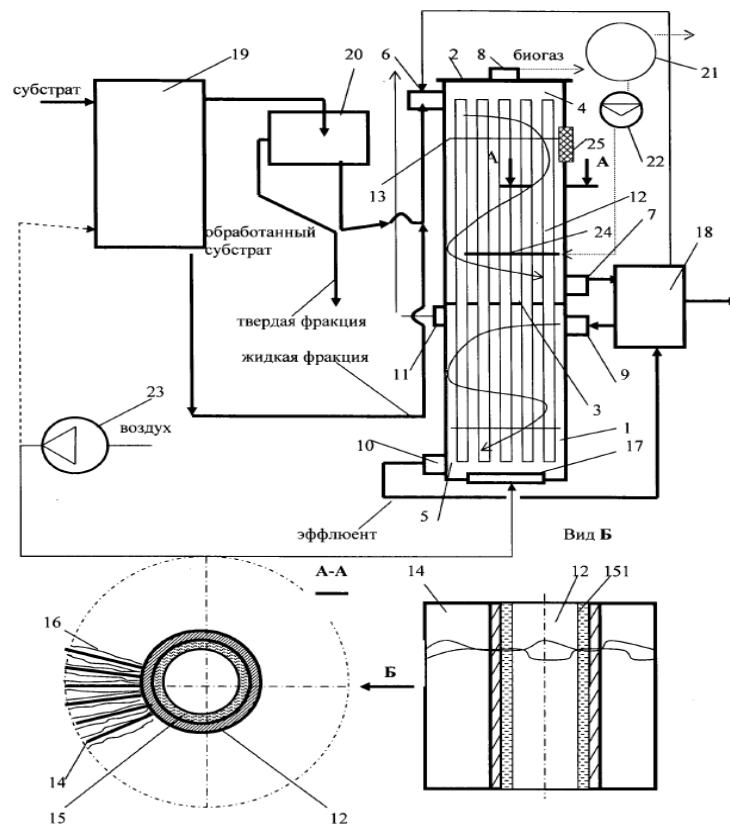


Рис. 1.4 - Схема пристрою для анаеробної і аеробної обробки концентрованих органічних рідин.

Насадка для іммобілізації мікроорганізмів виконана у вигляді сукупності порожніх вертикальних стрижнів, заповнених низькокиплячою рідиною. Зовнішня поверхня кожного зі стрижнів, щонайменше в анаеробній зоні, забезпечена ребрами.

Пристрій рекомендується використовувати при очищенні фугатів, надсадкових рідин, фільтратів, що утворюються при механічному поділі на фракції безпідстилкового гною, посліду, осадів та мулів очисних споруд, а також для безпосередньої очистки стічної води переробної промисловості АПК.

Пристрій складається з вертикального герметичного корпусу 1, з кришкою 2 і перегородкою 3, яка розділяє корпус 1 на анаеробну 4 і аеробну 5 зони. Зона 4 (5) оснащена патрубками 6 (9) і 7 (10) для підведення і відведення рідини і патрубком 8 (11) відведення біогазу (газоподібних продуктів метаболізму). Усередині двох зон розміщені вертикально орієнтовані тепло-, масообмінні елементи (термосифони) 12, об'єднані перегородкою 3 і скріплені в єдину збірку 13. Кожний термосифон, особливо в зоні 4, забезпечений зовнішніми вертикальними ребрами 14. Всередині герметичної порожнини термосифона 12 знаходиться низькокипляча рідина, наприклад фреон, яка при конденсації - випаровуванні утворює плівку 15. На поверхні ребер 14 і труб термосифонів 12 утворюється біоплівка, яка призводить до деструкції органічних і мінеральні компоненти, що поступають зі стічною водою утворюючи, біогаз (в анаеробній зоні), діоксид вуглецю (в аеробній зоні) і надлишкову біомасу. Частина активної мікрофлори розташовується в вільному просторі та також бере активну участь в масообмінних процесах. Зона 5 забезпечена засобами аерації 17. Передбачається маневрування потоками рідини за допомогою розподільного пристрою 18. При необхідності апарат оснащується додатково засобами попередньої обробки субстрату, наприклад,

реакторами аеробного, аноксидних або анаеробного гідролізу 19, механічними згущувачами 20. Анаеробний блок оснащується газосховищем 21 і компресором 22. Аеробний блок оснащується повітрорудкою 23. Біогаз для перемішування подається в газорозподільне пристрій 24. Зовнішня поверхня апарату забезпечується теплоізоляцією 25.

Пристрій функціонує наступним чином. Вихідна стічна рідина, що утворилася після обробки субстрату, в реакторі гідролізу 19 і механічному згущувачі 20 надходить в анаеробну зону 4 герметичного корпусу 1 через патрубок 6 і вступає у взаємодію з біоплівкою, закріпленою на поверхні ребер 14 і корпусу термосифона 12. В результаті біохімічних реакцій відбувається очищення рідини від органічних забруднень, основна частина яких (до 90%) переходить в біогаз, що відводиться через патрубок 8, і біоплівку (не більше 3%), яка, при досягненні певного віку відмирає і виноситься з очищеної рідиною та відділяється гравітаційним способом. Потік рідини розподіляється уздовж поверхні збірки 13 таким чином, щоб забезпечити рівномірний контакт рідини з біоплівкою. Біогаз накопичується у верхній частині апарату під кришкою 2. При обробці субстрату з вологістю менше 99% в анаеробну зону 4 через газорозподільне пристрій 24 подається біогаз компресором 22 з газосховища 21. Частково очищена рідина або додатковий потік вихідної стічної рідини спрямовується в аеробну зону 5 корпусу 1, відокремлену перегородкою 3 від анаеробної зони 4, через розподільний пристрій 18 і патрубок 9. Обробка проводиться активним мулом і частково аеробною біоплівкою. Основна маса забруднень переходить в аеробну біомасу, яка частково виноситься з очищеної рідиною в апарат гравітаційного поділу. Аеробні умови створюються засобами аерації 17.

Газоподібні продукти метаболізму виводяться через патрубок 11. Теплова енергія, що виділяється в ході аеробних біохімічних реакцій, через поверхню термосифона 12 передається низькокиплячій рідині, яка під дією сил гравітації стікає з верхньої (конденсаційної) зони апарату у вигляді плівки 15.

В результаті теплопідведення рідина закипає, пара, що утворилася, надходить в конденсаційну зону, де теплова енергія передається анаеробній біомасі (біоплівці) 16. Утворений конденсат стікає в нижню (випарну) зону, і далі процес повторюється. Розподільний пристрій 18 забезпечує рециркуляцію аеробного і анаеробного потоків.

Запропонований пристрій дозволяє обробляти рідини (фугати, фільтрати, недосадкові рідини) з високою концентрацією органічних забруднень (до 5-60 г/л по ГПК) і ефективністю очищення (по ГПК) понад 90%, причому, ступінь видалення забруднень в анаеробній і аеробній зонах можна регулювати залежно від типу рідини, енергозабезпечення виробництва і вимог до глибини очищення.

Особливістю роботи біореакторів з іммобілізованою мікрофлорою є те, що на поверхні мікробної біомаси внаслідок метаболізму утворюються бульбашки газу, які перешкоджають живленню мікроорганізмів. Бульбашки газу відриваються самостійно від біомаси тільки при досягненні певного розміру, що є досить тривалим процесом. При зрошенні волокон носія біомаси газові бульбашки руйнуються значно швидше. Це дозволяє збільшити поверхню контакту стічної води та мікроорганізмів і інтенсифікувати процес живлення мікроорганізмів.

В [12] запропонований спосіб біологічного очищення стічної води, який здійснюється в установці, що показана на рисунку 1.5. Установка включає анаеробні біореактори 1, 2; аеробні біореактори 3, 4, 5 з розташованими в них волокнистими носіями для іммобілізації мікроорганізмів 6; рециркуляційні насоси 7; компресор 8; Аератор 9; рециркуляційний трубопровід 10; трубопровід для повітря 11; трубопровід для подачі стічної води 12; трубопровід відведення очіщеної води 13; перфорований трубопровід 14 для зрошення волокнистого носія; пристрій для відбору газу 15.

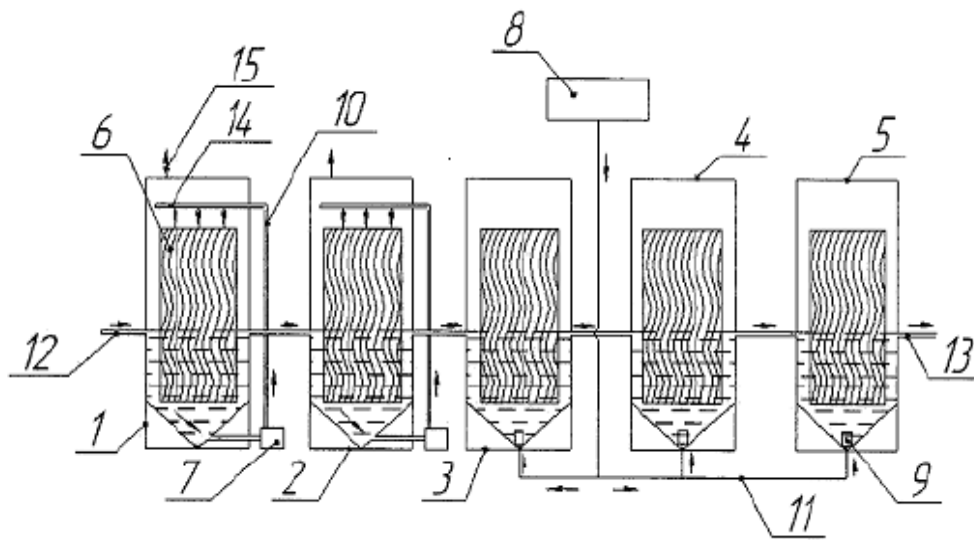


Рис. 1.5 - Схема установки для біологічного очищення води

Використання запропонованого способу не потребує додаткового застосування складного механічного, аераційного чи іншого обладнання. В порівнянні з відомими способами дозволяє збільшити ступінь очищення стічної води на 5-10% .

В [13] запропонований пристрій для очищення стічної води, схема якого зображена на рисунку 1.6.

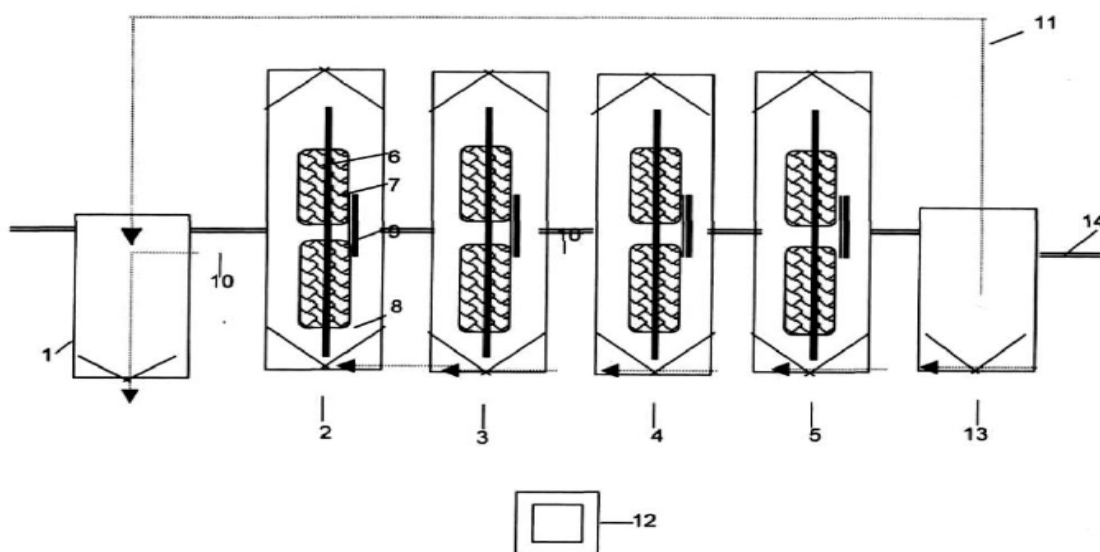


Рис. 1.6 - Схема пристрою для очищення стічної води

Пристрій включає: приймальну камеру (1), анаеробний біореактор (2), аеротенки (3,4,5) з розташованими в центральній частині ерліфтами (6), біофільтр (7) та волокнисті насадки з іммобілізованими мікроорганізмами (8), запобіжну перегородку (9). Елементи 7 і 8 закріплені нерухомо в одній конструкції з трубопроводом (10). Трубопровід (11) призначений для транспортування рідини з відстійника у приймальну ємність. Пристрій крім того містить пульт керування ерліфтами (12), відстійник (13).

Компактність пристрою дозволяє зменшити його матеріалоємність, а також площу під забудову очисних споруд.

В [14] запропонований спосіб біологічного очищення стічної води іммобілізованими мікроорганізмами.

Спосіб реалізується в установці схема якої показана на рисунку 1.7. Стічна вода подається в біореактор з послідовно розташованими анаеробними, аноксидними, анаеробними зонами, в яких встановлені носії для іммобілізації мікроорганізмів у вигляді синтетичних волокон.

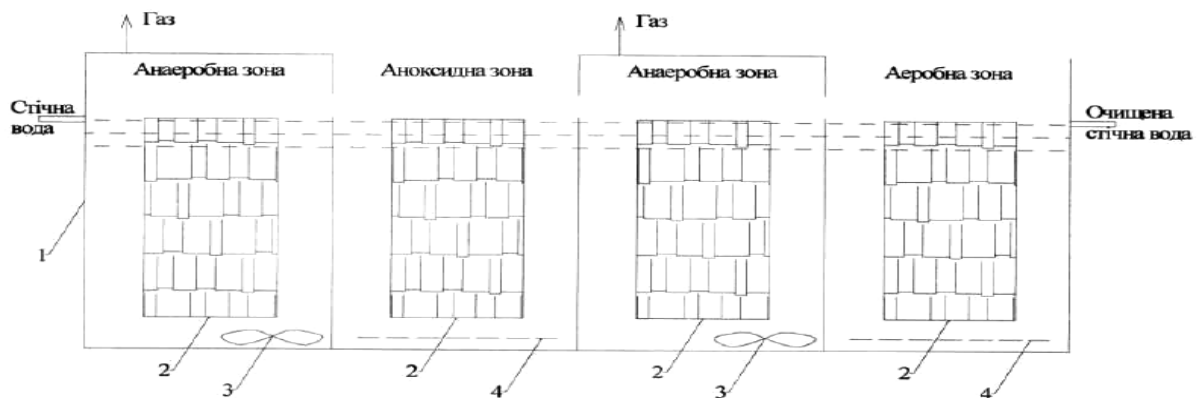


Рис. 1.7 - Схема установки для біологічного очищення стічної води іммобілізованими мікроорганізмами:

1 - біореактор; 2 - носії для іммобілізації мікроорганізмів; 3 - система перемішування; 4 - система аерації

Установка працює наступним чином: стічна вода по трубопроводу надходить в біореактор - 1, з послідовно розташованими зонами: анаеробна,

аноксидна, друга анаеробна, аеробна. Зони оснащені носіями. В анаеробних зонах передбачена система перемішування - 3, а в аноксидних та аеробних зонах здійснюється подача повітря через систему аерації - 4 для забезпечення відповідної концентрації кисню. Перевага запропонованого біологічного способу очищення полягає в тому, що за рахунок іммобілізації мікроорганізмів на носіях збільшується концентрація біомаси в стічній воді, тим самим, підвищується продуктивність установки в результаті збільшення окисної потужності та швидкості окиснення органічних речовини. Крім того ефективність очищення стабільна і не залежить від зміни параметрів вхідної стічної води, введення послідовної анаеробних-аеробної обробки дозволяє отримувати енергетично корисний біогаз, стабілізований надлишково мул та стабільний ефект очищення стічної води.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що використання анаеробних методів очищення є особливо ефективним для високих концентрацій забруднень у стічній воді, а також для великих об'ємів води, яка поступає на очищення, що характерно для промислових стоків [15-17].

В біотехнологічних виробництвах та харчовій промисловості, стічна вода має високий рівень забруднення органічними сполуками доцільно застосовувати анаеробні методи очищення. Утворений на очисних спорудах біогаз може використовуватися, наприклад, для отримання гарячої води або пари [18-20].

Ступінь деградації забруднень та утвореного об'єму біогазу залежать від складу субстрату, умов протікання процесу. Метаногенні мікроорганізми чутливі до зміни параметрів роботи біореактора: температури, швидкості подачі субстрату. Неконтрольована зміна цих параметрів може призвести до скороченням виділення біогазу та зменшенням ступеня розкладу забруднень.

Перевагами анаеробних методів очищення стічної води в порівнянні з аеробними є відсутність витрат на аерацію, низька енергоємність, отримання цінного енергоносія - біогазу, мала кількість надлишкового мулу.

Перспективність використання анаеробних методів очищення промислової стічної води полягає в тому, що в процесі очищення 90% органічних сполук перетворюються в продукти метаболізму, зокрема біогаз,, основною складовою якого є метан, 10% - перетворюються в біомасу.

Нижче наведено короткий перелік особливостей анаеробного очищення стічної води:

- можна застосовувати без попереднього освітлення (відстоювання);
- може застосовуватися тільки при високих концентраціях забруднень стічної води ($>2000\text{мг/л}$);
- відносно тепла вода($>25^{\circ}\text{C}$);
- надходження токсичних речовин на очисні споруди заборонено;
- лужна стічна вода обробляється без попередньої нейтралізації;
- можуть існувати значний час без надходження "свіжої" стічної води;
- при жорстких вимогах до якості стічної води необхідна аеробна ступінь доочищення;
- не спостерігається значне зниження вмісту у воді N і P;
- утворюється дуже мала кількість надлишкового активного мулу;
- немає небезпеки швидкого засмічення носіїв біомаси;
- висока об'ємна продуктивність очисних споруд, потреба в малих виробничих площах;
- майже не вимагають технічного обслуговування;
- відсутність запаху, так як використовуються закриті ємності;
- отримання енергетично цінного біогазу;
- часто значні інвестиційні витрати;
- нижчі експлуатаційні витрати;
- невелика потреба в електроенергії;
- не потрібно введення додаткових поживних речовин;
- мала кількість надлишкового активного мулу;
- рентабельно при відносно великих розмірах.

Протягом останніх десятиліть технологія анаеробного розкладу пройшла новий етап розвитку і сьогодні може розглядатись як один з найефективніших методів утилізації відходів органічного походження. Тому її належне використання повинно розглядатись як важливий інструмент енергетичної та природоохоронної політики держави.

Анаеробний процес проходить в біоенергетичних установках (БЕУ), які є складною системою технологічних процесів як фізико-хімічної, так і біологічної природи (процеси, пов'язані з життєдіяльністю мікроорганізмів). Постійний прогрес технології анаеробного розкладу приводить до розвитку нових технічних рішень в цій сфері, зокрема, одноємнісні типи біореакторів замінюють на багатоемнісні, одностадійні схеми процесу — на двостадійні, поряд із технологічними схемами з високою одиничною потужністю застосовують модульні установки [22].

1.2. Аналіз теоретичних досліджень кінетики метанового збродження органічного субстрату

В [1-6] докладно проаналізовані процеси розпаду органічного субстрату при метановому зброджуванні, яке відбувається в результаті складного анаеробного процесу, що здійснюється в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Основним кінцевим продуктом розпаду органічної речовини є біогаз [4]. Біогаз це суміш газів, основними складовими якої є метан (50-87%), вуглекислий газ (13-50%), та інші домішки в незначних кількостях.

Метан утворюється з органічних відходів в процесі життєдіяльності декількох груп мікроорганізмів, які перетворюють складні органічні сполуки в прості. Ці сполуки є джерелом живлення для метаногенних бактерій. Метаногенні бактерії більш чутливі до змін навколишнього середовища, ніж кислото генні. Лімітуючою стадією процесу анаеробного зброджування є утворення метану [4].

Найбільш важливим субстратом для метаногенних бактерій є оцтова кислота, з якої утворюється більше 40% метану. Метаногенні бактерії перетворюють в метан 90-95% використовуваного вуглецю і лише 5-10% вуглецю переходить в біомасу. Завдяки цьому до 80-90% органічних речовин, що розкладаються в процесі розвитку метаногенного консорціуму мікроорганізмів, перетворюється в біогаз. При анаеробному очищенні води кількість утвореної біомаси набагато менша, ніж при аеробному процесі очищення. Це дозволяє значно скоротити витрати на утилізацію відпрацьованого мулу.

Дослідники [21-25] вважають, що в процесі анаеробного розкладання органічної речовини слід виділяти три основні стадії, які протікають під впливом трьох фізіологічних груп бактерій (рисунок 1.8).

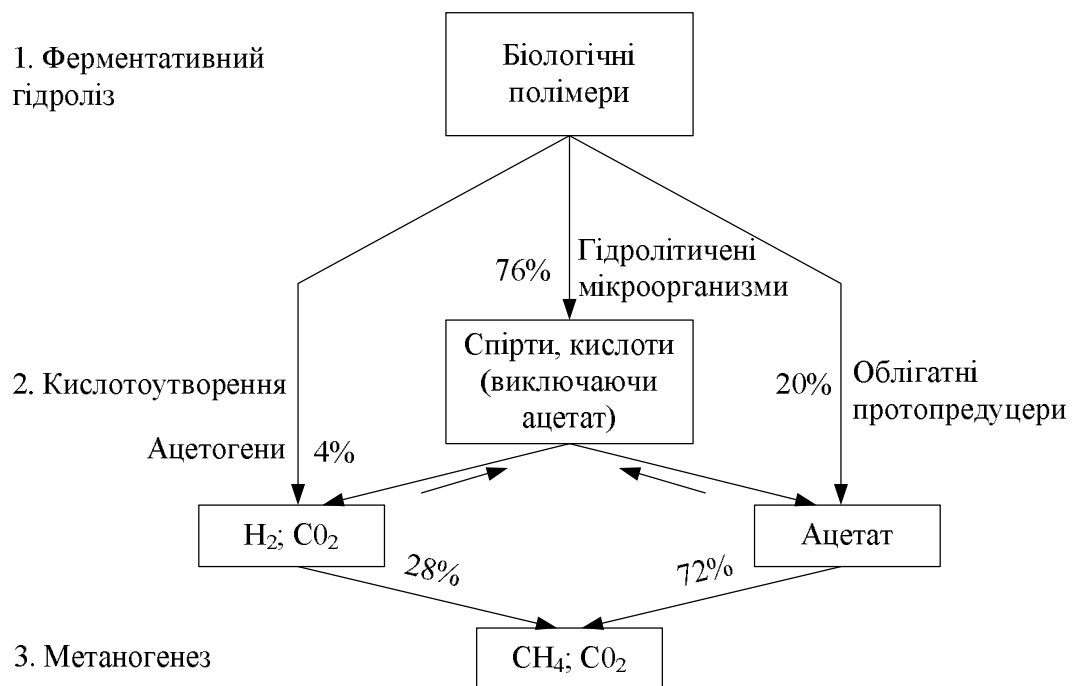


Рис. 1. 8 – Три стадії анаеробного розпаду органічної речовини [21-25]

На першій стадії [21-25]. складні речовини, які належать до основних груп органічних сполук (білки, жири, полісахариди), піддаються ферментативному гідролізу так званими "первинними" анаеробами. Одночасно цими мікроорганізмами здійснюється гідроліз моносахаридів, органічних

кислот і спиртів, що призводить до утворюються воденню, вуглекислого газу, низькомолекулярних жирних кислот, спиртів та деяких інших сполук [21-25].

На другій стадії [21-25] кислотогенні мікроорганізми, перетворюють більш складні речовини в низькомолекулярні органічні кислоти з виділенням H_2 і CO_2

На третій стадії процесу [21-25] подальший розклад органічних речовин здійснюється метаногенними і деякими іншими мікроорганізмами, які споживають метаболіти, що утворилися на попередніх стадіях.

На рисунку 1.8 графічно показані [21-25] три основні стадії метаногенезу, в кожній з яких беруть участь різні групи мікроорганізмів. Аналіз процесу анаеробного розкладання органічної речовини за трьох стадійною схемою показує доцільність фізичного розділення груп мікроорганізмів, які відповідають за кожну з стадій, та використання секційної конструкції біореактора, в кожній секції якого переважає один з процесів. Такий підхід дає додаткову перевагу, так як співвідношення CO_2 і CH_4 в біогазі з різних стадій зародження відрізняється, а секціонування процесу дозволяє зменшити витрати на очищення отриманого біогазу.

Синтез біогазу реалізується при метановому збродженні концентрованих субстратів. Цей процес реалізують дві форми біоценозів – активний мул та біоплівка. Активний мул як структурна одиниця представлений дрібними пластівцями від світлого до темно-коричневого кольору розміром до декілька сотень мікрометрів. Він сформований на 70 % з живих мікроорганізмів і на 30% з твердих частинок неорганічної природи. Пластівці складаються з великого числа багат шарово розташованих або флокульованих клітин.

Біоплівка є слизистим утворенням завтовшки 1 мм – 2 мм і більше. Біоплівка прикріплена до носія або до стінок реактора. Біоплівка – високо структуроване клітинне утворення, в якому мікробні клітини включені в комплексну матрицю. Організація, форма, щільність цього клітинного об'єднання залежить від умов навколишнього середовища. Мікробні клітини,

які знаходяться в товщі біоплівки, захищені від можливих шкідливих впливів зовнішнього середовища і, таким чином, вони можуть виживати в несприятливих умовах навколишнього середовища [21-25].

Формування біоплівки є складним процесом, який включає в себе декілька етапів [21-25]. Протягом усього процесу формування біоплівки різні фактори навколишнього середовища (тип поверхні, фізичні обмеження, наявність поживних речовин, масоперенос і т.д.) будуть мати вплив на будову біоплівки і структурування мікробних популяцій, які її складають. Основні три етапи формування біоплівки на даний час детально вивчені. На першому етапі, який відповідає періоду адгезії, бактерії пристосовуються до нових умов.

Другий етап утворення біоплівки супроводжується активним будівництвом одночасно з виробництвом полімерів. Товщина плівки постійно зростає. На третьому етапі товщина біоплівки сягає плато і явища зростання, обумовленого доступом до субстрату, компенсується явищами спаду (ендогенне дихання) і відмирання [21-25].

Швидкість масопереносу через біоплівку може контролювати загальну швидкість процесу деградації субстрату, яка залежить від гідродинаміки руху рідини в біореакторі і властивостей біоплівки. Швидкість дифузійного транспорту субстрату, поживних речовин і газів визначається фізіологією популяцій на різних глибинах товщини біоплівки. Таким чином, дифузія цих речовин через біоплівку впливає на зростання мікроорганізмів, що знаходяться глибоко в біоплівці. Здатність до очищення конкретною популяцією залежить від концентрації біомаси в біоплівці. У стані рівноваги максимальна щільність біомаси є функцією від концентрації лімітуючого субстрату, який в даний час присутній у стічній воді. Таким чином, різні мікробні популяції можуть виникнути в результаті різного складу субстрату. Градієнт концентрацій, викликаний дифузійним опором, визначає розподіл організмів по товщині біоплівки. Важливу роль в формуванні структури біоплівки грає гідродинамічна обстановка у біореакторі. При ламінарному режимі

утворюється умовно анізотропна біоплівка. Під потужним однонапрямленим гідродинамічним напруженням клітинні агрегати протягуються вздовж напрямку потоку з формуванням «стрічок», які одним кінцем кріпляться до поверхні, а іншим можуть вільно коливатися в потоці. Гідродинаміка впливає на контакт мікроорганізмів з носієм, місцем розвитку біоплівки, а також на фізичні властивості біоплівки, такі, як щільність і міцність зчеплення з носієм. Біоплівки, зростаючи під сильними гідродинамічними навантаженнями, тонше і щільніше, ніж ті, які піддаються меншим гідродинамічним навантаженням [21,23].

1.3 Аналіз конструкцій анаеробних біореакторів

Соціальна та економічна потреба в ефективних технологіях очищення стічної води з порівняно низькою вартістю вимагає розроблення нових конструкцій біореакторів. Широке використання анаеробних методів очищення стічної води зумовило розробку різноманітних конструкцій біореакторів. При розробці конструкції біореакторів враховувалось наступне:

- вид та обсяги відходів, що переробляються;
- необхідним ступенем деградації;
- місце анаеробного біореактора у технологічній схемі очищення.

Найбільш загальноприйнята класифікація анаеробних реакторів заснована на формі макроструктур метаногенів біомаси в них.

За формою макроструктур метаногенів біомаси всі конструкції біореакторів можна розділити на реактори з взважено-седиментованою біомасою (мулом) і прикріпленою біомасою (біоплівкою). Прикладом першого типу реакторів є традиційний метантенк, анаеробна лагуна, контактний реактор, UASB - реактор з висхідним потоком рідини через шар анаеробного мулу,

EGSB - реактор з розширеним шаром гранульованого мулу, перегородковий

реактор (ABR). Докладний аналіз принципів особливостей конструкцій цих реакторів наведений в [22].

На рисунках 1.9 і 1.10 показані [32] два основні приклади нового покоління реакторів UASB - з високою швидкістю внутрішньої циркуляції та з розширеним гранульованим мулом.

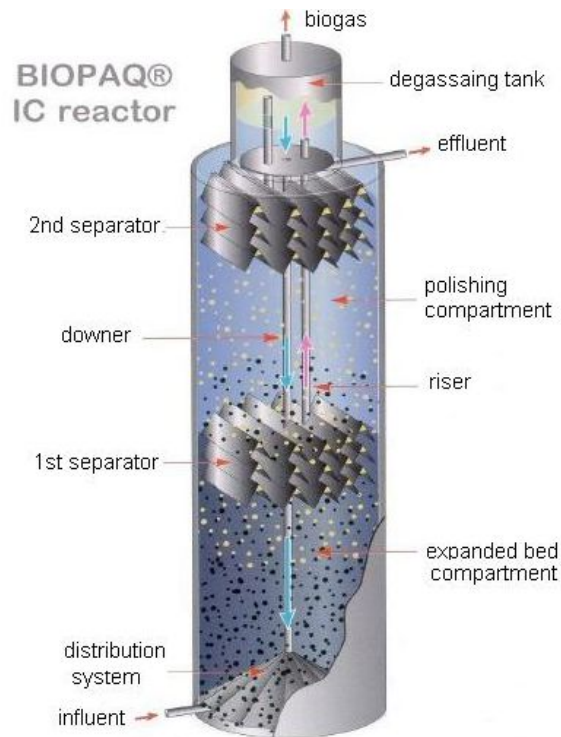


Рис. 1.9 - Реактор з високою швидкістю внутрішньої циркуляції.

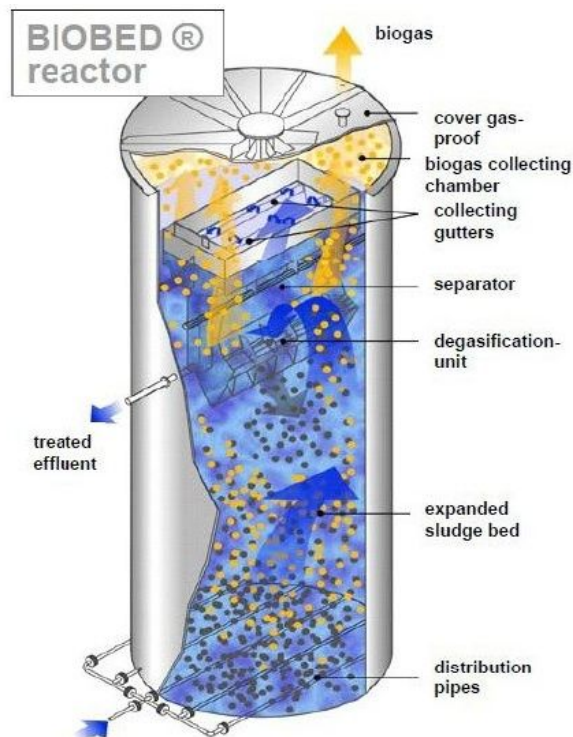


Рис. 1.10 - Реактор з розширеним гранульованим мулом

До другого типу відносяться реактори з низхідним потоком (DSFF-реактор), реактор з псевдозрідженим шаром (AFB), біологічні фільтри тощо.

В анаеробних біофільтрах органічні забруднення стічної води захоплюються і руйнуються активною біомасою, яка закріплена на поверхні насадки.

Анаеробні біофільтри мають переваги в порівнянні з метантенками, що використовуються в системах очищення стічної води [33]:

- стійкість роботи в умовах органічних та гідравлічних ударних навантажень;
- низькі експлуатаційні витрати;
- довготривалий термін використання;
- значне зменшення БПК;
- невеликі габаритні розміри.

Ряд конструкцій – анаеробний біофільтр з висхідним потоком (AF) та гібридний реактор (AF+UASB) – поєднують у собі елементи обох типів реакторів [33].

Отже, сутністю анаеробного фільтра та головною відмінністю його від інших анаеробних біореакторів є наявність завантаження з інертного носія, розміщеного у біореакторі без можливості виносу його потоком рідини, що поступає на очищення. На носіїві утворюється біоплівка, з якою контактує субстратом. Анаеробні біофільтри класифікують за напрямом потоку субстрату, конструкцією завантаження та матеріалом носія. Організація руху рідини в анаеробному фільтрі визначає не тільки конструктивне оформлення установки, а і кількість та активність біомаси, якість та швидкість обробки, обсяги біогазу, що виділяється.

На рисунках 1.11 і 1.12 показані схема і переріз [33] анаеробного фільтра із висхідним потоком рідини.

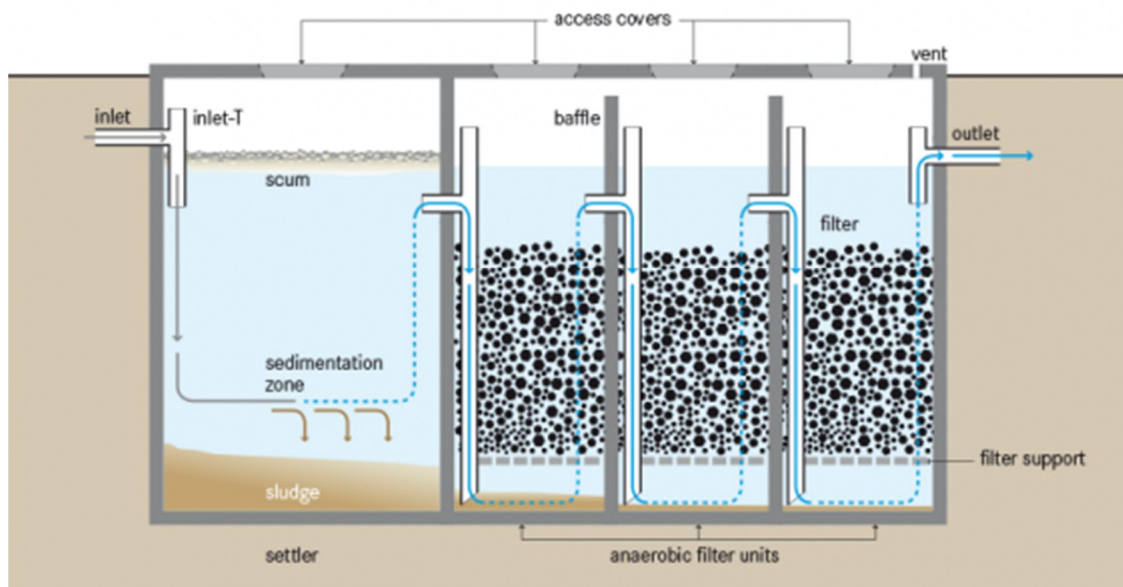


Рис. 1. 11– Анаеробний фільтри із висхідним потоком стічної води

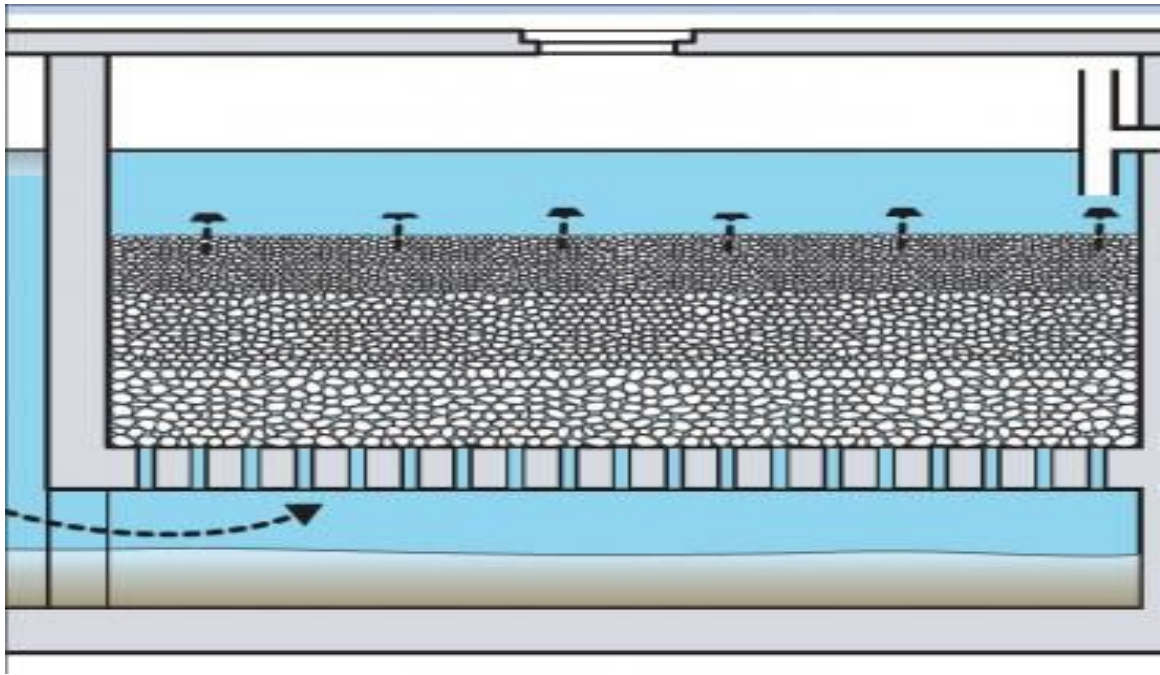


Рис. 1. 12 – Переріз анаеробного фільтра: із висхідним потоком стічної води

Процеси третього покоління включають зрідження мікробного шару на синтетичному або природному носії. Реактор з псевдозрідженим шаром характеризується ступенем псевдозрідження більше 50%, а реактори з розширеним шаром мулу - ступенем псевдозрідження близько 20%. Площа контакту носія дуже велика (більше $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$), при проведенні процесу відбувається активне перемішування, що усуває проблеми підведення субстрату. Час гідравлічного перебування становить менше 12 годин. Однак, ці реактори споживають більше енергії і технічно перевершують попереднє покоління, тобто мають більш складну конструкцію. Застосовувані органічні навантаження можуть перевищувати $40 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{ сут})$ [33].

Біореактор із розширеним і зваженим шаром активного мулу (рисунок 1.13) (Expanded G Sludge Bed Reactor, EGSB). Принциповою відмінністю даного типу реакторів від UASB-реактора є більша швидкість висхідного потоку рідини за рахунок рециркуляції для інтенсифікації масообміну між

гранулами мулу та стічної водою. За поширенням ця високоінтенсивна конструкція поступається лише UASB-реакторам.

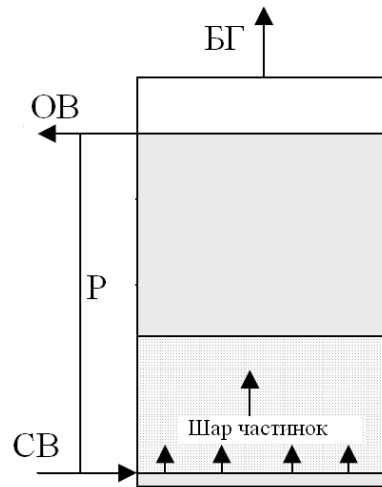


Рис. 1.13 – Біореактор із розширеним шаром активного мулу: СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу; Р – рециркуляція

Такі реактори придатні для переробки стоків з низькою концентрацією забруднень у широкому діапазоні температур [20, 33].

Біореактор із псевдозрідженою біомасою (рисунок 1.14) (Fluidized Bed Reactor) – один із найбільш продуктивних біореакторів із закріпленою мікрофлорою за рахунок більш повного контакту забруднень із біомасою.

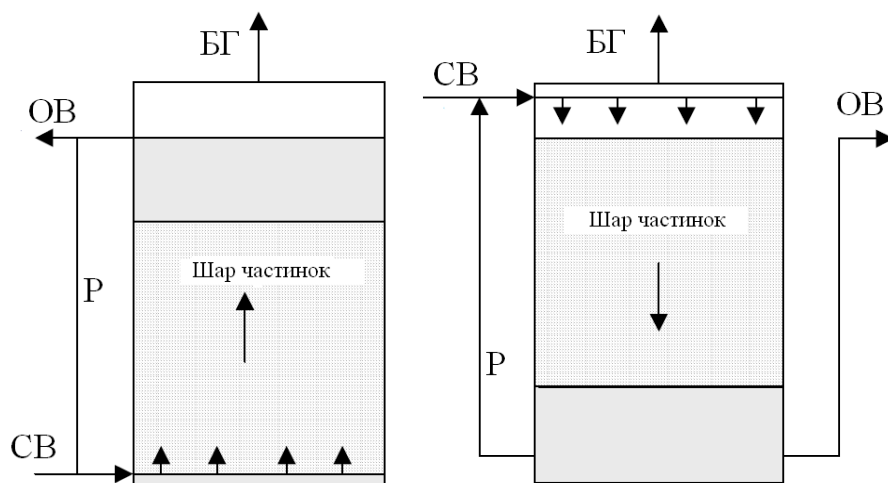


Рис. 1. 14 – Реактор з псевдозрідженим носієм: а – з висхідним потоком;
б – з нисхідним потоком; СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води;
БГ – вихід біогазу; Р – рециркуляція

Псевдозрідження відбувається за рахунок висхідного потоку рідини та бульбашок біогазу, що виділяється. При цьому значно збільшується поверхня контакту між активною біомасою та необробленими відходами. В таких біореакторах обробляють низькоконцентровані стоки із розчиненими або дрібнодисперсними забрудненнями. Однак, підтримка псевдозрідженого шару потребує значних енерговитрат [20,33].

Різноманітність складу та властивостей стічної води не дозволяють однозначно якісно та кількісно порівняти різні конструкції анаеробних біореакторів. В залежності від характеристик стоку та місцевих кліматичних та соціально-економічних умов оптимальною може стати будь-яка конструкція з вищеписаних систем. [20, 33].

1.4. Особливості носіїв мікрофлори

Як показано в [7,8, 22, 23], значний вплив на продуктивність реактора має вибір матеріалу і конфігурації носія мікрофлори. Так, наприклад, використання в якості носія синтетичної бахромистої тканини дозволяє в 4 рази підвищити продуктивність реактора по біогазу в порівнянні з носієм з гранул активованого вугілля [22]. Для утримання біомаси в біореакторі використовують так звані носії, які виготовляються з різних матеріалів. До матеріалу носія пред'являються такі вимоги [24]:

- біосумісність з мікроорганізмами біоплівки, не викликаючи інгібування процесів їх росту і метаболізму;

- відсутність взаємодії з субстратом, продуктами життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу, а так же хімічна стійкість до тривалого впливу агресивного середовища;

- висока пористість, питома поверхня і шорсткість, що забезпечують найкращу адсорбції клітин активного мулу, при чому розмір пор повинен перевищувати середній розмір мікроорганізмів, тобто 1-4 мкм, так як при менших значеннях розміру пір біоплівка утворюється суто на поверхні носія, роблячи непотрібним його мікропористу структуру. Необхідне значення пористості носія для зниження ризику замулювання має бути вище 90%[23];

- механічна міцність, що забезпечує надійність конструкції при збільшенні кількості біомаси на носії.

Нижче наведений опис сучасних способів виготовлення носіїв з іммобілізованою мікрофлорою.

В [35] запропонований спосіб виготовлення носія з іммобілізованими мікроорганізмами-біоіндикаторами забруднення води.

Фрагменти капронового носія «Вія», який має розгалужену площу контакту з рідиною, вагою 50-100 г, очищують у безфосфатному миючому засобі, промивають дистильованою водою, висушують на повітрі, стерилізують, готують суспензію пігментосинтезуючих бактерій. Запропонований спосіб виготовлення носія з іммобілізованими бактеріями-біоіндикаторами забруднення (з використаних поживного середовища МПА), дозволяє мікроорганізмам тривалий час утримуватися на носії зі збереженням оптимальної біомаси та здатності до пігментоутворення.

Суттєвими ознака способу є:

- очищення полімерного носія, (капронового волокна «Вія») у миючих розчинах;

- промивання носія дистильованою водою;

- сушіння носія;

- стерилізація носія;

- внесення суспензій пігментосинтезуючих бактерій у поживне середовище
- іммобілізація носія бактеріями у поживному середовищі;
- сушіння носія на повітрі.

Застосування бактерій, які за рахунок поживного середовища закріплюються на полімерному носії, забезпечує якісне визначення токсичних забруднень.

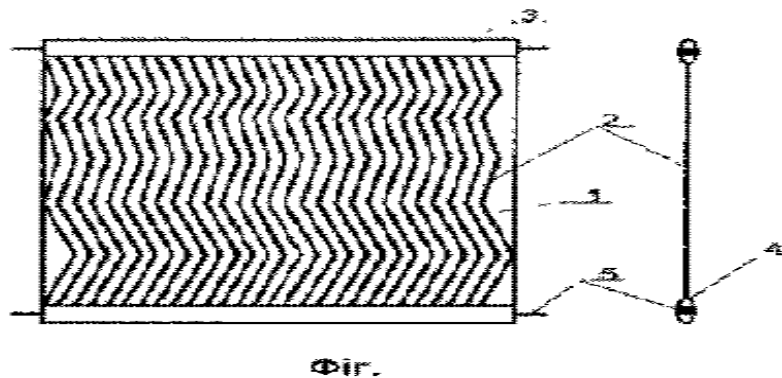


Рис. 1.15 – Схема носія для іммобілізації мікроорганізмів.

В [36] запропонований носій для іммобілізації мікроорганізмів, який складається з окремих елементів у вигляді полотнищ. Полотнища виготовлені з синтетичних поліамідних волокон, закріплених нерухомо дротом. Полотнище має ділянки у вигляді петель. Розміри полотнища: довжина 1 - 3 м, ширина 2 - 2,5 м, а діаметр петлі - 0,15 - 0,20 м. Полотнища закріплюються в рамі з кроком кріплення 0,2-0,3 м

Стічна вода, яка надходить на очищення, неперервно насосом подається в біореактор з носієм на якому іммобілізуються мікроорганізми.

Використання поліамідного волокна сприяє закріпленню більшої кількості мікроорганізмів за рахунок підвищеної адгезії мікроорганізмів до поліаміду. В цілому така конструкція дозволяє досягти більш високої ефективності очищення стічної води за рахунок іммобілізації більшої кількості біомасі мікроорганізмів, значно спростити монтаж носія, покращити

обслуговування біореактора. Разом з тим, в біореакторі виникають труднощі з вільною циркуляцією потоку стічної води через структуру поліамідних полотнищ.

У [37] наведений спосіб отримання гранульованого носія, що містить іммобілізовані мікроорганізми, який полягає в іммобілізації мікроорганізмів у вигляді гранул.



Рис. 1.16 - Структура мінерального носія з внутрішнім біоактивним прошарком

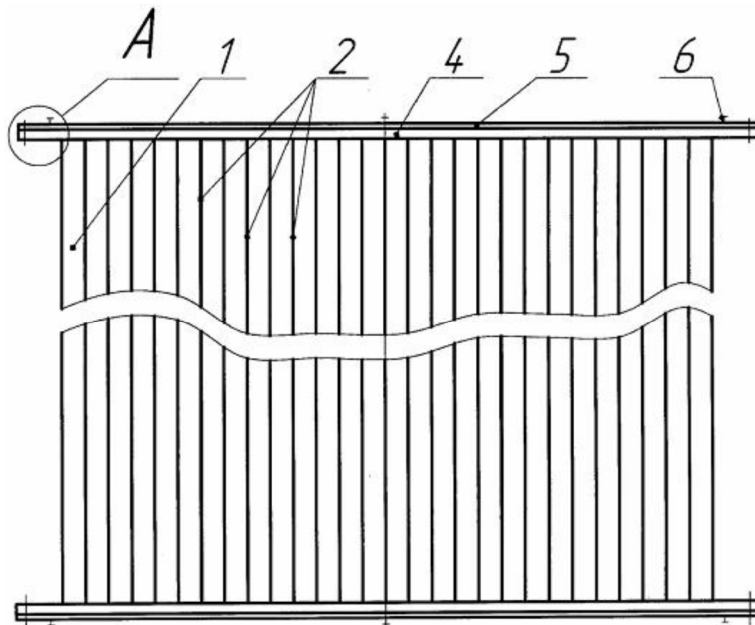
Гранулювання здійснюють в обертовому тарілчастому грануляторі зі змішуванням іммобілізованих мікроорганізмів з мінеральним порошком, який виготовлений на основі золи виносу теплової електростанції (ТЕС) і має підвищену водостійкість, при швидкості обертання тарілки 70-80 об./хв. та часі гранулювання - 10-30 хвилин з отриманням гранул із модифікованою поверхнею діаметром 4-5 мм. Процес гранулювання проводять при температурі +25 °С. Вологість суміші при змішуванні іммобілізованих мікроорганізмів з мінеральним порошком на основі золи виносу ТЕС підтримують на рівні 35 %.

У [38] наведена конструкція завантаження для анаеробного біореактора (рис. 1.17), яке складається з каркасу, утвореного із листами полімерного

матеріалу, і елементів кріплення. Листи полімерного матеріалу вгорі та знизу жорстко закріплені на прутах, які встановлені у пази фіксуючих кілець, що з'єднані між собою елементами кріплення.

Листи полімерного матеріалу 2 послідовно закріплюються на верхніх та нижніх прутах шляхом запаювання. Забруднена вода подається знизу вгору і контактує із іммобілізованою на полімерних листах 2 мікрофлорою, внаслідок чого, відбувається деструкція органічних сполук, що супроводжується виділенням біогазу.

Аналіз літературних джерел показує, що в якості матеріалу носія може використовуватися металева сітка, капронові волокна, пенька, скловолокно, активоване вугілля та інші матеріали, проте останні дослідження свідчать про перспективність використання полімерних матеріалів в якості носія [22].



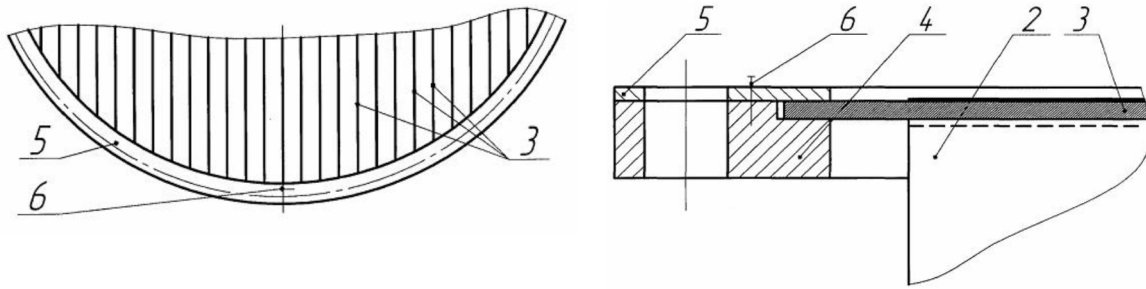


Рис. 1.17 - Конструкція завантаження для анаеробного біореактора:

- 1 - завантаження 2 - полімерні листи , 3 - металеві пруті,
4 і 5 - фіксуючі кільця, 6 - болти.

На рисунку 1.17 показана схема [39] анаеробного біореактора з висхідним потоком рідини і площинним завантаженням. Принцип роботи пристрою наступний: стічна вода поперемінно протікає по відсіках реактора, при контакті з біоплівкою, що закріплена на нерухомих носіях, органічні речовини, що містяться у стічній воді, піддаються анаеробній деградації. При проходженні робочих камер стічна вода має висхідний потік, що сприяє більш інтенсивному відриву газових бульбашок від матеріалу носія. У перетоках, що являють собою теплообмінні секції, температура стічної води доводиться до температури процесу. Утворений біогаз відводиться за допомогою газовідвідних пристроїв 6 як показано на зображенні (рисунок 1.13), які також являють собою бризкоуловлювачі для відділення крапель рідини, що захоплені потоком біогазу. При накопиченні у нижній частині робочих камер відпрацьованого активного мулу, він відводиться через штуцери 7.

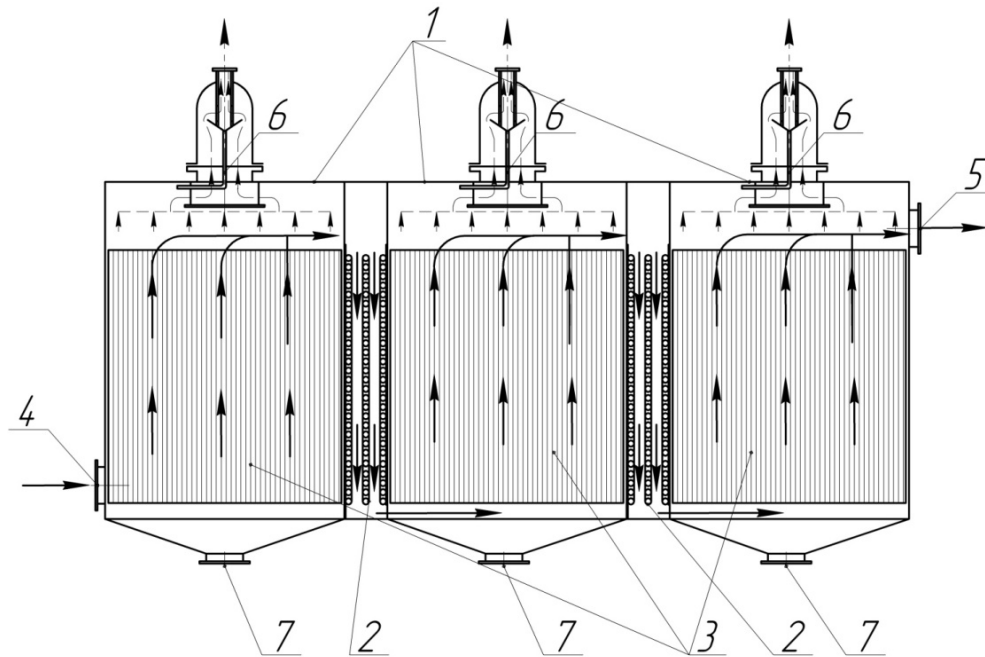


Рис. 1.18 - Схема анаеробний біореактора з висхідним потоком рідини і площинним завантаженням:

- 1 – секції реактора; 2 – перегородки; 3 – завантаження; 4 – вхідний штуцер;
5 – вихідний штуцер; 6 – газовідділюючий пристрій;
7 – штуцер для виведення відпрацьованого мулу

Розділення реактора на декілька секцій дозволяє розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора. Реакційний простір може згодом розглядатися як 2-х ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в першій секції і метаногенезом в кінці реактора. Така організація реактора

Використання орієнтованого завантаження у вигляді плоских листів дозволяє регулювати гідродинамічні і теплові режими роботи біореактора.

В сучасних біореакторах широке використання отримали носії, виготовлені з пластичних мас у вигляді кілець, волокон (так звана неупорядковане завантаження), плоских і гофрованих листів, труб, сіток (орієнтоване завантаження) та ін. Хороші результати показують носії з полістиролу, полівінілхлориду. На рисунку 1.19 представлені найбільш поширені типи носіїв мікрофлори в анаеробних біореакторах.

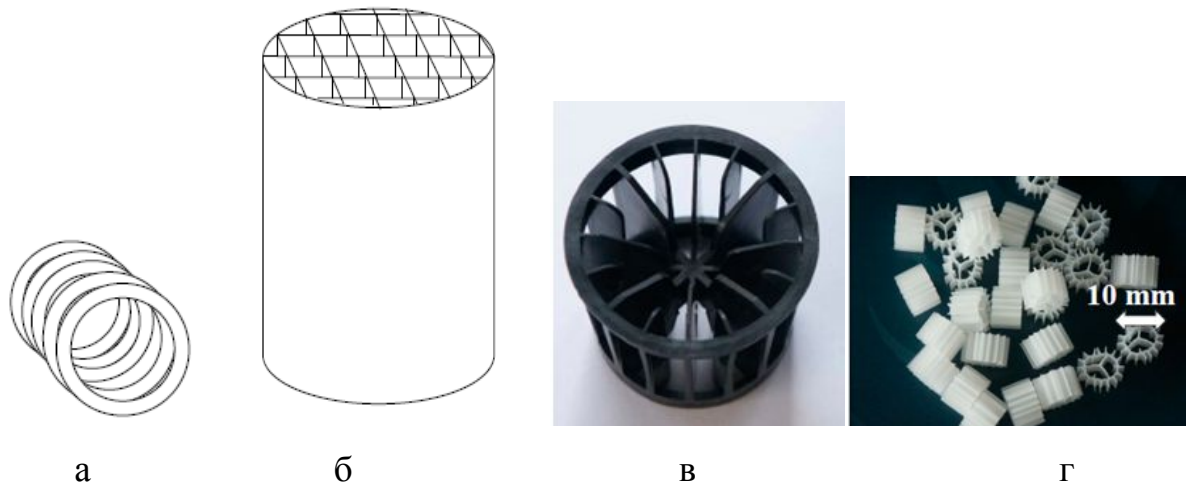


Рис. 1.19 – Приклади завантаження, які використовуються у якості носіїв мікрофлори: а – Floccor ®; б – Cloisonyle ®; в – Bioflow 30, Raushert ®; Bioflow 9, Raushert ®

Гідродинамічні і теплові режими роботи біореакторів в значній мірі впливають на ефективність очищення води і на продуктивність анаеробних біореакторів по біогазу. Так, при мезофільному процесі перепад температур в біореакторі не може перевищувати 1°C . Враховуючи, що біодеградація органічних забруднень води протікає зі значним виділенням теплової енергії, забезпечення ефективного теплообміну в апаратах з неупорядкованим завантаженням проблематично.

1.5. Вибір дослідної конструкції біореактора

Аналіз конструкцій біореакторів показує, що анаеробні біореактори з висхідним потоком рідини з площинним завантаженням, поступається ESGB-реакторам, а також реакторам з псевдо зрідженим шаром мулу за такими показниками:

- продуктивність;
- гранично допустима концентрація ХСК у стоках;
- мінімальний часу перебування;

- концентрації біомаси.

Разом з тим, для обробки стоків підприємства з виробництва кормових дріжджів з утворенням $4000\text{ м}^3/\text{доба}$ стічної води забрудненістю $6,5\text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3\text{ доба})$ при відсутності жорстких обмежень за часом обробки, використання конструкції анаеробного біореактора є економічно вигідним за рахунок зниження вартості реактора та експлуатаційних затрат

Доцільність використання анаеробного біореактора з висхідним потоком рідини з площинним завантаженням, підтверджуються наступним:

1. Площинне вертикально розміщене завантаження забезпечує рівномірне розподілення стоків, отже більш ефективне використання корисного об'єму реактора.
2. Площинне завантаження забезпечує рівноцінні умови масообміну на поверхні біоплівки.
3. В біореакторі з площинним завантаженням створюються умови для надійного закріплення мікрофлори на поверхні носія, суспендовані клітини знаходяться у реакторі у незначній кількості і, як наслідок, зменшується винесення активної біомаси з реактора.

Використання орієнтованого завантаження у вигляді плоских листів дозволяє регулювати гідродинамічні і теплові режими роботи біореактора. Принципова схема біореактора, який поєднує у собі переваги анаеробного біофільтра та перегородчастого реактора [25], зображена на рисунку 1.20.

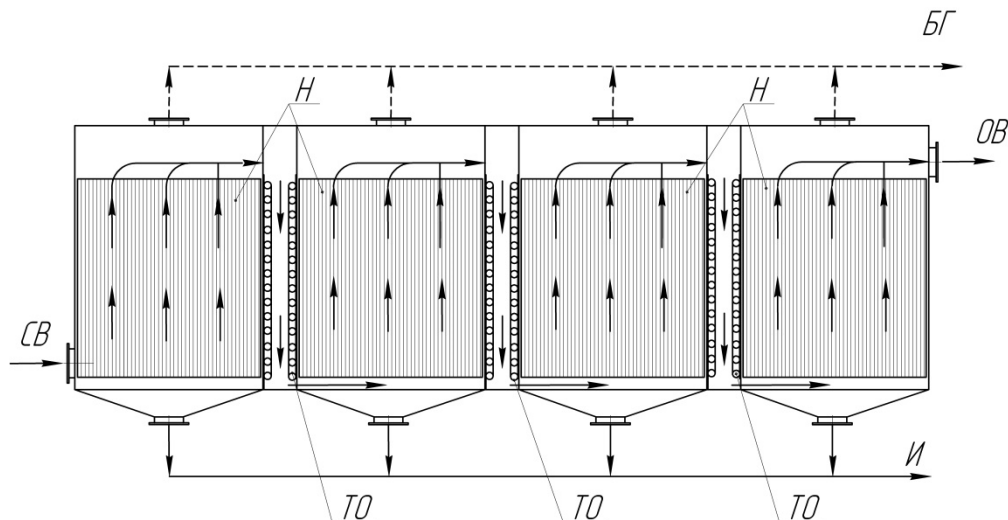


Рис. 1.20 – Принципова схема роботи біофільтра з іммобілізованою на нерухомих носіях мікрофлорою: СВ – стічна вода; ОВ – очищена вода; БГ – вихід біогазу; Н – блоки носіїв; ТО – теплообмінні пристрої; И - випуск відпрацьованого активного мулу

Стічна вода очищується, вступаючи в кожну із секцій знизу і висхідним потоком проходячи через завантаження з фіксованою на ній мікрофлорою. Між секціями встановлені перетоки, які, в свою чергу, грають роль теплообмінних пристроїв. Поділ реактора на кілька секцій дозволяє розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора. Реакційний простір може згодом розглядатися як ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в першій секції і метаногенезом в кінці реактора. Така організація реактора дозволяє активній біомасі краще протистояти залповим навантаженням.

Поділ робочого об'єму біореактора на декілька секцій дозволяє розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора. Реакційний простір може згодом розглядатися як 2-х ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в першій секції і метаногенезом в кінці реактора. Така організація реактора дозволяє активній біомасі краще протистояти залповим навантаженням.

Ефективна робота запропонованого апарата залежить від вибора конструктивних та технологічних параметрів роботи біореактора. В цьому

аспекті особливу увагу слід приділити процесам масообміну між субстратом і біоплівкою, який напряду впливає на ефективність очищення стічної води, і створення гідродинамічних умов, які забезпечуватимуть інтенсивний масоперенос. Складність фізико-хімічних процесів, які протікають в біореакторі, визначають необхідність побудови і дослідження математичної моделі процесів у біореакторі.

1.6. Висновки

1. Анаеробні методи очищення дозволяють значно скоротити затрати на експлуатацію установки, так як не потребуються затрати на аерацію середовища, значно знижуються затрати на утилізацію відпрацьованого активного мулу завдяки порівняно невеликій його кількості, знижуються витрати на обслуговування.

2. Анаеробні біореактори стійки до залпових викидів стічної води, а також зберігають свою працездатність при тривалій відсутності надходження свіжого субстрату, що характерно для циклічного виробництва.

3. При анаеробних процесах використовуються закриті ємкості, знижуються викиди шкідливих речовин в атмосферу, тобто такі виробництва є більш екологічними.

4. Анаеробні біореактори мають переваги в порівнянні з метантенками, що використовуються в системах очищення стічної води за рахунок зниження вартості реактора та експлуатаційних затрат. Використання анаеробного біореактора з площинним завантаженням забезпечує рівномірне розподілення стоків, і більш ефективне використання корисного об'єму реактора.

5. Впровадження анаеробних біореакторів з площинним завантаженням обмежене недостатністю науково-обґрунтованих методів їх проектування, які враховують процеси, що протікають в біореакторі. Не в повній мірі досліджені процеси деградації органічних забруднень при максимальному виході біогазу в результаті метанового зброджування. в подібних біореакторах.

1.7. Постановка задач дослідження

Аналіз літературних джерел свідчить про перспективність застосування біореакторів з іммобілізованою мікрофлорою, в яких в якості носія використовують площинне завантаження. Такі апарати компактні, дозволяють збільшити площу і час контакту біомаси та субстрату не зменшуючи продуктивність установки, вони прості в конструкції і регулюванні.

Проте впровадження анаеробних біореакторів подібної конструкції обмежено відсутністю науково-обґрунтованих методів їх проектування. Не в повній мірі розроблені і досліджені математичні моделі кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води, які дозволили встановити умови досягнення найвищого можливого ступеня деградації субстрату при максимальному виході біогазу в процесі метанового зброджування.

Задачі дослідження:

1. Провести е теоретичне дослідження кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води в анаеробних біореакторів з площинним завантаженням.

2. Розробити математичну модель, що описує кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води в анаеробних біореакторах з площинним завантаженням.

3. На основі математичного моделювання встановити кінетичні залежності, що описують процес очищенні води в анаеробних біореакторах .

4. Числове дослідження кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води в анаеробних біореакторах .

5. Створення комп'ютерної моделі анаеробного біореактора;

6. Комп'ютерне дослідження характеристик міцності та стійкості окремих елементів конструкції біореактора.

2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ В БІОРЕАКТОРІ З ІММОБІЛІЗОВАНОЮ БІОМАСОЮ

Мета математичного моделювання – теоретичне дослідження кінетики процесу біоконверсії органічних забруднень при очищенні стічної води в анаеробному біореакторі з закріпленою мікрофлорою.

В біореакторі біомаса іммобілізована на плоских листах розміщених в корпусі вертикально.

Конструкція біореактора повинна забезпечити найбільшу продуктивність при переробці стічної води Q , $m^3/год$ для заданого ступеня очищення з урахуванням обмежень щодо маси біореактора і габаритних розмірів.

Математичне моделювання процесу анаеробного очищення стічної води спрямоване на визначення:

- геометричних розмірів біореактора (ефективної довжини робочої зони біореактора L , ширини каналу, між носіями біомаси δ);
- кількості і розмірів носіїв біомаси;
- швидкості потоку рідини в каналі W_z ;
- часу перебування стічної води на очищенні.

Аналіз процесів біоконверсії органічних забруднень при анаеробному очищенні стічної води біотехнологічних виробництв виявив від 2 до 5 стадій процесу анаеробного бродіння. Для випадку очищення води з високим вмістом забруднень, які легко засвоюються мікрофлорою біореактора, запропонована двостадійна модель [21-25]:

1 стадія - забруднення, концентрацію яких приймають еквіваленту концентрації глюкози розкладаються до ацетатів (оцтової кислоти);

2 стадія - ацетати (оцтова кислота) розкладаються до біогазу.

За даної моделі мікрофлора біореактора складається з кислотогенної біомаси та метаногенної біомаси [21-25].

Стічна вода, з забрудненням, що можна виразити як еквівалентну концентрацію глюкози $S_{01}, \text{кг}_{\text{ХПК}}/\text{м}^3$, надходить знизу в першу секцію біореактора і піднімається вгору по вертикальних каналах шириною δ , утворених плоскими носіями біомаси. Носії біомаси - це листи, виготовлені з полімерних матеріалів, на яких закріплена біоплівка. Органічні забруднення стічної води кислотогенними мікроорганізмами біоплівки розкладаються на більш прості хімічні з'єднання, еквівалентні концентрації оцтової кислоти. Оцтова кислота в процесі життєдіяльності метаногенної мікрофлори деградує до метану і вуглекислого газу.

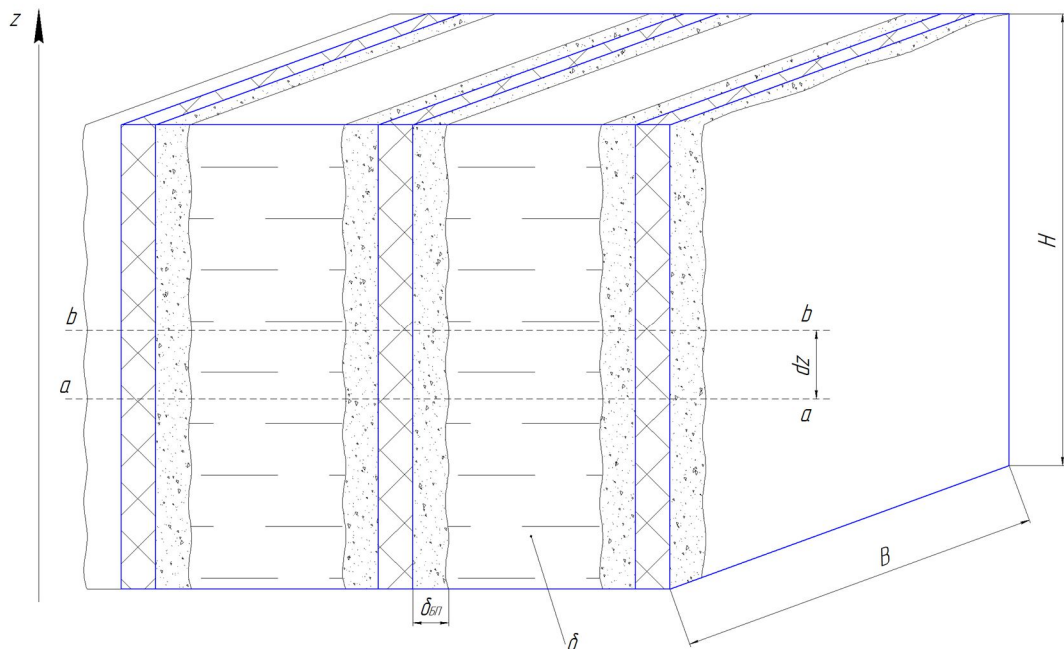


Рис. 2.1- Схема розміщення біоплівки на плоских носіях.

При побудові математичної моделі процесів в анаеробному біореакторі прийняті наступні припущення:

- мікроорганізми рівномірно розподілені в біоплівці, отже перетворення речовин в біореакторі відбувається рівномірно по ширині і висоті листа-носія біомаси;

- в усталеному процесі в біореакторі адсорбція мікроорганізмів із потоку рідини на поверхню біоплівки практично відсутня, вхідний потік рідини не

містить активної біомаси, тобто кількість активної біомаси в біореакторі постійна, а кількість біомаси в біоплівці дорівнює кількості прикріпленої біомаси в реакторі;

- потік рідини в каналі між носіями біомаси має ламінарний характер, локальні значення швидкості рідини в перерізі каналу близькі до середньої швидкості.

Введемо наступні позначення:

X - сумарна концентрація біомаси в біоплівці;

X_1 - концентрація кислотогенної біомаси в біоплівці;

X_2 - концентрація метаногенної біомаси в біоплівці;

$S_{БП1}$ – середня концентрація глюкози в біоплівці;

$S_{БП2}$ – середня концентрація оцтової кислоти в біоплівці;

S_I – середня по перерізу каналу концентрація глюкози в стічній воді.

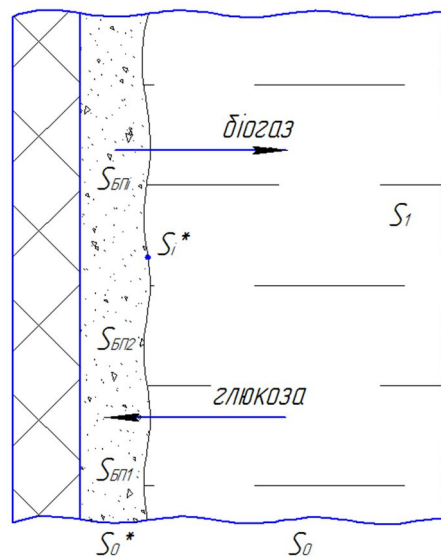


Рис. 2. 2 - Схема перетворення глюкози в біогаз.

Виділимо по осі z відрізок dz .

При середньому русі рідини в каналі швидкість між листами W_v :

$$dz = W_v \cdot d\tau, \quad (2.1)$$

Запишемо вирази для визначення елементарного об'єму біоплівки та елементарного об'єму стічної води, що відповідає відрізьку dz :

$$V_{\text{БП}} = \delta_{\text{БП}} \cdot B \cdot dz, \quad (2.2)$$

$$V_{\text{В}} = \delta \cdot B \cdot dz, \quad (2.3)$$

Нехай маса глюкози в біоплівці в перерізі a – a становить $m_{\text{БП}i}$:

$$m_{\text{БП}i} = \delta_{\text{БП}} \cdot B \cdot S_{\text{БП}i} \cdot dz, \quad (2.4)$$

А в перерізі b – b :

$$m_{\text{БП}i} + \frac{dm_{\text{БП}i}}{dz} dz, \quad (2.5)$$

Маса глюкози в стічній воді в перерізі a – a становить:

$$m_1 = \delta \cdot B \cdot S_{1i} \cdot dz, \quad (2.6)$$

А в перерізі b – b :

$$m_2 = \delta \cdot B \cdot S_{1i+1} \cdot dz,$$

$$m_2 = m_1 - 2 \cdot \Delta m_{\text{БП}i},$$

$$S_{1i+1} = S_{1i} - \frac{2 \cdot \Delta m_{\text{БП}i}}{\delta \cdot B \cdot dz}, \quad (2.7)$$

Приріст глюкози в біоплівці становить:

$$-\frac{dm_{\text{БП}i}}{dz} dz = -\Delta m_{\text{БП}i}, \quad (2.8)$$

З врахуванням виразів (2.7) і (2.8)

$$\frac{dm_{\text{БП}i}}{dz} = \delta_{\text{БП}} \cdot B \cdot \frac{dS_{\text{БП}i}}{dz} dz = \frac{\delta_{\text{БП}} \cdot B}{W_{\text{В}}} \cdot \frac{dS_{\text{БП}i}}{d\tau} dz, \quad (2.9)$$

Зменшення кількості глюкози в біоплівці в результаті життєдіяльності кислотогенної біомаси виражається залежністю[21-25]:

$$r_1 = \left(\frac{\mu_1 X_1}{Y_{X_1}} + K_{S1} X_1 + K_{mX_1} X_1 \frac{S_{\text{БП}i}}{K_{S1} + S_{\text{БП}i}} \right), \quad (2.10)$$

Зміна середньої концентрації глюкози в біоплівці описується залежністю:

$$\frac{dS_{\text{БП1}}}{d\tau} = - \left(\frac{\mu_1 X_1}{Y_{X_1}} + K_{S1} X_1 + K_{mX_1} X_1 \frac{S_{\text{БП1}}}{K_{S1} + S_{\text{БП1}}} \right), \quad (2.11)$$

Тоді

$$\frac{dm_{\text{БП1}}}{dz} = - \frac{\delta_{\text{БП}} \cdot B}{W_B} \cdot \left(\frac{\mu_1 X_1}{Y_{X_1}} + K_{S1} X_1 + K_{mX_1} X_1 \frac{S_{\text{БП1}}}{K_{S1} + S_{\text{БП1}}} \right) dz, \quad (2.12)$$

Зменшення кількості оцтової кислоти в біоплівці в результаті життєдіяльності метаногенної біомаси виражається залежністю [21-25]:

$$r_2 = Y_{S1} X_1 \left(K_{SX_1} + K_{mX_1} \frac{S_{\text{БП1}}}{K_{S1} + S_{\text{БП1}}} \right) - X_2 \left(\frac{\mu_2}{Y_{X_2}} + K_{S1X2} + K_{mX2} X_2 \frac{S_{\text{БП2}}}{K_{S2} + S_{\text{БП2}}} \right), \quad (2.13)$$

Тоді:

$$\begin{aligned} \frac{dS_{\text{БП2}}}{d\tau} = & Y_{S1} X_1 \left(K_{SX_1} + K_{mX_1} \frac{S_{\text{БП1}}}{K_{S1} + S_{\text{БП1}}} \right) - \\ & X_2 \left(\frac{\mu_2}{Y_{X_2}} + K_{S1X2} + K_{mX2} X_2 \frac{S_{\text{БП2}}}{K_{S2} + S_{\text{БП2}}} \right), \end{aligned} \quad (2.14)$$

Збільшення кількості метану в результаті життєдіяльності метаногенної біомаси виражається залежністю [21-25]:

$$r_3 = V_{\text{mmax}} X_2 \frac{S_{\text{БП2}}}{K_m + S_{\text{БП2}}} \cdot \frac{K_{1m}}{K_{1m} + S_{\text{БП2}}}, \quad (2.15)$$

Зміну маси біогазу на відрізку dz можна знайти з залежності:

$$\frac{dm_{\text{Б3}}}{dz} = \delta_{\text{БП1}} \cdot B \cdot \frac{dS_{\text{БП3}}}{dz} dz = \frac{\delta_{\text{БП1}} \cdot B}{W_B} \cdot \frac{dS_{\text{БП3}}}{d\tau} dz, \quad (2.16)$$

Враховуючи, що [21-25]:

$$\frac{dS_{\text{БП3}}}{d\tau} = r_3, \quad (2.17)$$

$$\frac{dS_3}{d\tau} = V_{\text{mmax}} X_2 \frac{S_{\text{БП2}}}{K_m + S_{\text{БП2}}} \cdot \frac{K_{1m}}{K_{1m} + S_{\text{БП2}}}, \quad (2.18)$$

Глюкоза поступає в біоплівку зі стічної води. При припущенні, що концентрація глюкози в біоплівці розподіляється за лінійним законом, на межі біоплівка-рідина концентрація приймає максимальне значення і рівна рівноважній Sl^* , а на поверхні листа дорівнює 0. Тоді середня концентрація по товщині плівки [21-25]:

$$Sl^* = Sl \cdot \frac{\delta}{\delta + \delta_{\text{БП}}}, \quad (2.19)$$

$$S_{\text{БП}} = \frac{Sl^*}{2}, \quad (2.20)$$

Нехай для перерізу а-а:

$$Sl_i^* = Sl_i \cdot \frac{\delta}{\delta + \delta_{\text{БП}}}, \quad (2.21)$$

$$S_{\text{БП}i} = \frac{Sl_i^*}{2}, \quad (2.22)$$

Тоді для перерізу в-в концентрація глюкози в біоплівці і стічній воді в перерізі в-в:

$$S_{\text{БП}i+1} = S_{\text{БП}i} - \left(\frac{\mu_1 X_1}{Y_{X_1}} + K_{S1} X_1 + K_{mX_1} X_1 \frac{S_{\text{БП}i}}{K_{S1} + S_{\text{БП}i}} \right) \cdot \frac{\Delta z}{W_B}, \quad (2.23)$$

$$Sl_{i+1} = Sl_i - \frac{2 \cdot dz}{W_B} \cdot \left(\frac{\mu_1 X_1}{Y_{X_1}} + K_{S1} X_1 + K_{mX_1} X_1 \frac{S_{\text{БП}i}}{K_{S1} + S_{\text{БП}i}} \right), \quad (2.24)$$

Концентрація оцтової кислоти в біоплівці та біогазу в перерізі в-в розраховуються за рівняннями:

$$S_{\text{БП}2i+1} = S_{\text{БП}2i} + \frac{2 \cdot dz}{W_B} \cdot \left(Y_{S1} X_1 \left(K_{SX_1} + K_{mX_1} \frac{S_{\text{БП}i}}{K_{S1} + S_{\text{БП}i}} \right) - \right. \\ \left. \left(-X_2 \left(\frac{\mu_2}{Y_{X_2}} + K_{S1X2} + K_{mX2} X_2 \frac{S_{\text{БП}2i}}{K_{S2} + S_{\text{БП}2i}} \right) \right) \right) \quad (2.25)$$

$$S_{\text{БПЗi+1}} = S_{\text{БПЗi}} + V_{\text{max}} \left(X_2 \frac{S_{\text{БП2i}}}{K_m + S_{\text{БП2i}}} \cdot \frac{K_{1m}}{K_{1m} + S_{\text{БП2i}}} \right) \cdot \frac{\delta_{\text{БП1}} \cdot B \cdot dz}{W_b}, \quad (2.26)$$

В кінетичних залежностях, що описують процес очищення стічної води в біореакторі з іммобілізованою мікрофлорою входять кінетичні параметри, назва і значення яких наведені в таблиці 2.1 [21-25].

Таблиця 2.1.

Назва кінетичного параметру	Позначення	Одиниці виміру	Числове значення
Максимальна швидкість зростання кислотогенних бактерій	μ_1	год ⁻¹	0,0625
Максимальна швидкість зростання метаногенних бактерій	μ_2 ,	год ⁻¹	0,0125
Максимальний приріст біомаси кислотогенних бактерій, що споживають глюкозу	Y_{X1}	г · г ⁻¹	0,82
Максимальний приріст біомаси метаногенних бактерій, що споживають оцтову кислоту	Y_{X2}	г · г ⁻¹	0,82
Постійна напівнасичення кислотогенних бактерій	K_{S1}	г · л ⁻¹	1,5
Постійна напівнасичення метаногенних бактерій	K_{S2}	г · л ⁻¹	0,2
Константа насичення виробництва метану	K_m	г · л ⁻¹	0,0208
Постійна інгібування процесу виробництва метану оцтовою кислотою	K_{1m}	г · л ⁻¹	0,059
Постійна насичення у виразі споживання глюкози для перетворення в енергію, що необхідна для підтримки життєдіяльності кислотогенних бактерій	K_{mX1}	г · г ⁻¹ · год ⁻¹	0,504
Постійна насичення у виразі споживання глюкози для перетворення в енергію, що необхідна для підтримки життєдіяльності метаногенних бактерій	K_{mX2}	г · г ⁻¹ · год ⁻¹	0,93
Постійна у виразі зростання кислотогенних бактерій	K_{SX1}	г · г ⁻¹	0,938
Постійна насичення у виразі зростання	K_{SX2}	г · г ⁻¹	0,03

метаногенних бактерій			
Максимальна швидкість перетворення глюкози в оцтову кислоту	Y_{S1}	$г \cdot г^{-1}$	0,83
Максимальна швидкість перетворення оцтової кислоти в метан	Y_{S2}	$г \cdot г^{-1}$	0,26
Максимальна швидкість виробництва метану 1 г метаногенними бактеріями за добу	V_{max}	$г \cdot г^{-1} \cdot год^{-1}$	0,0208

2.1. Результати розрахунків

За результатами математичного моделювання процесу очищення стічної води в біореакторі з іммобілізованою біомасою були побудовані наступні залежності.

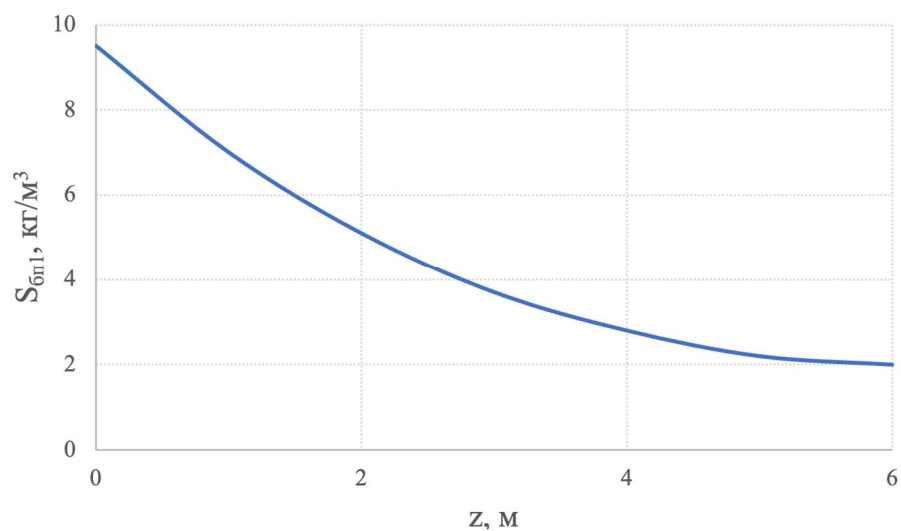


Рис. 2.3 - Зміна середньої концентрації глюкози по висоті біореактора

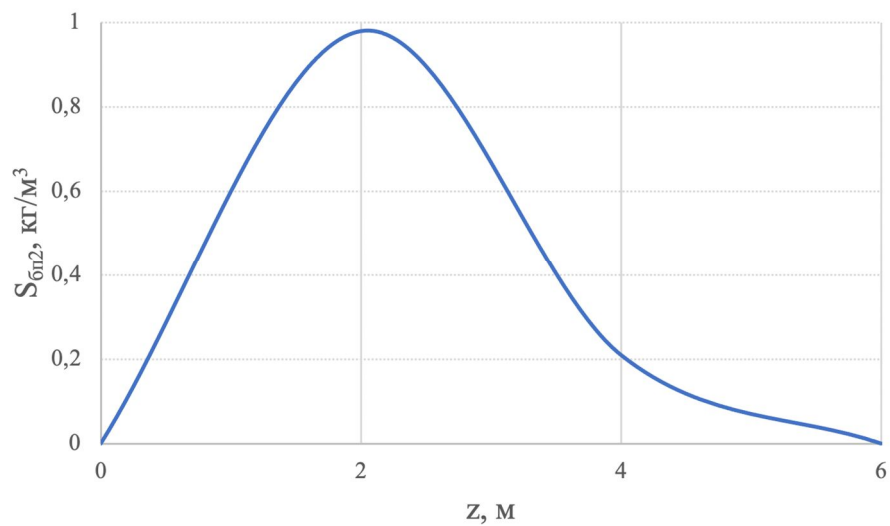


Рис. 2.4 - Зміна середньої концентрації оцтової кислоти в біоплівці по висоті біореактора

Результати розрахунків показали, що найінтенсивніше зниження концентрації глюкози і перетворення її в оцтову кислоту відбувається на висоті до 2 метрів (рис 2.3), що спричиняє стрімке зростання концентрації оцтової кислоти (рис. 2.4).

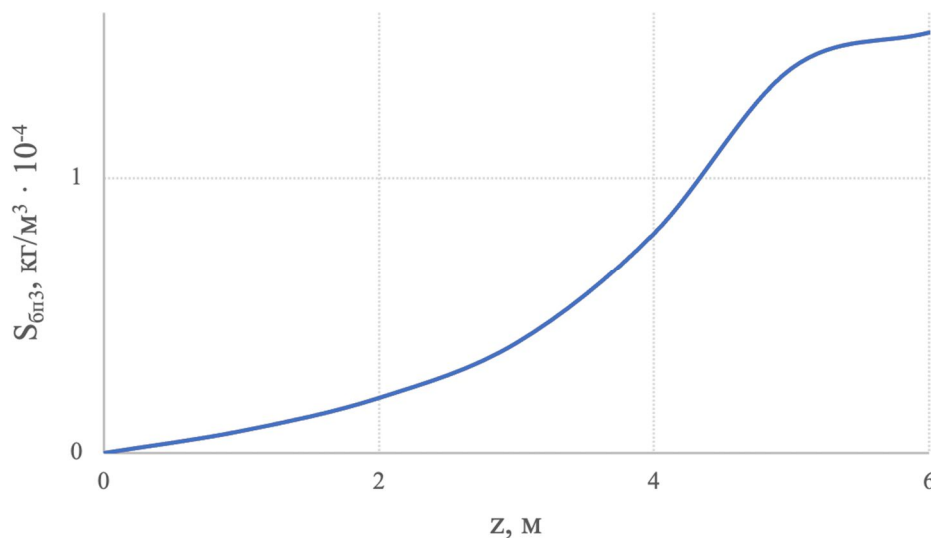


Рис. 2.5 - Зміна концентрації біогазу в біоплівці по висоті апарату

За отриманими даними можна зробити висновок, що концентрація біогазу в біоплівці інтенсивно збільшується до середини висоти апарату, а потім накопичення відбувається несуттєво.

2.2. Висновки

1. Математична модель кінетики біоконверсії органічних забруднень при очищенні стічної води в анаеробному біореакторі з закріпленою мікрофлорою достатньо повно описує процес.

2. Результати розрахунків показали, що найбільш інтенсивне зниження концентрації глюкози і перетворення її в оцтову кислоту відбувається на висоті, що становить близько третини загальної висоти каналу.

3. Суттєве наростання концентрації біогазу відбувається в першій половині каналу.

4. Розв'язання математичної моделі дозволяє зробити обґрунтовані рекомендації, щодо конструкції біореактора, геометричних розмірів біореактора (ефективної довжини робочої зони біореактора L , ширини каналу, між носіями біомаси δ); кількості і розмірів носіїв біомаси; швидкості потоку рідини в каналі W_B ; часу перебування стічної води на очищенні.

3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Мета комп'ютерного моделювання:

1. Побудувати модель біореактора та основних його конструктивних елементів.
2. Провести дослідження основних конструктивних елементів біореактора на дію зовнішніх та зовнішніх напружень.

3.1. Побудова 3D-моделі біореактора

Для побудови 3D-моделі було використано програмне забезпечення «SOLIDWORKS».

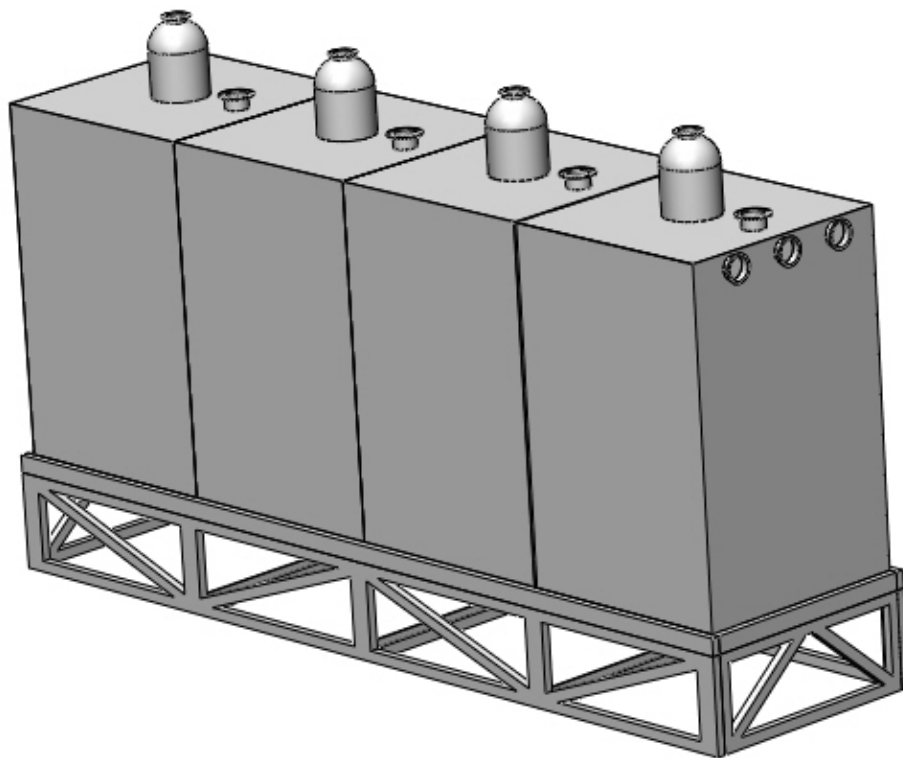


Рис. 3.1 - 3D-модель біореактора

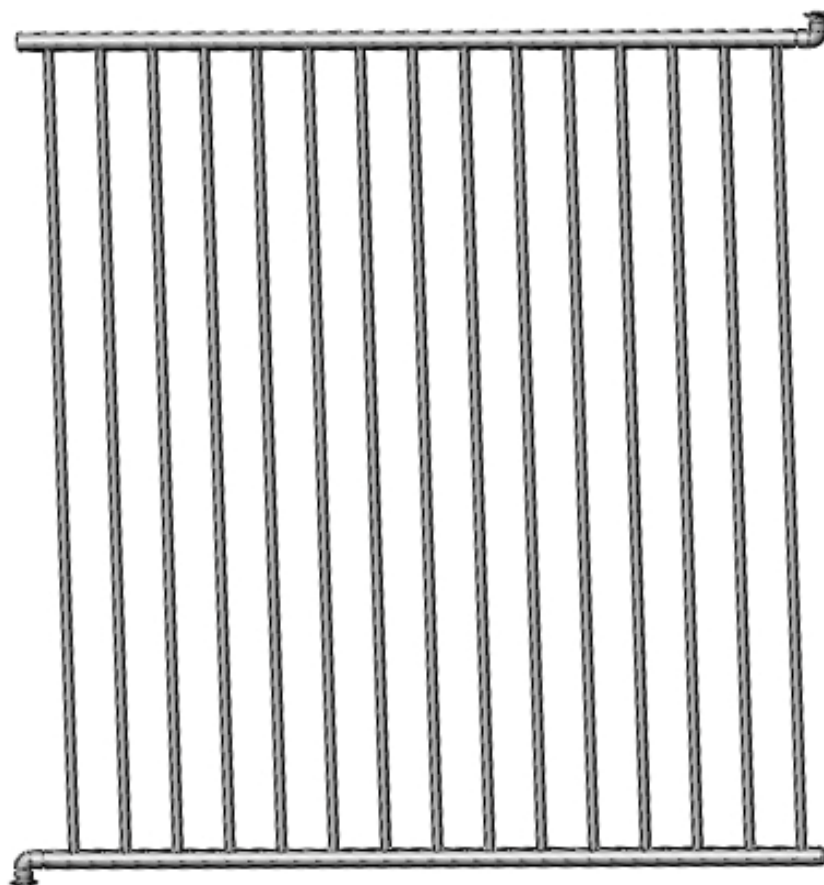


Рис. 3.2 - 3D-модель теплообмінного елементу

3.2. Дослідження конструктивних елементів біореактора

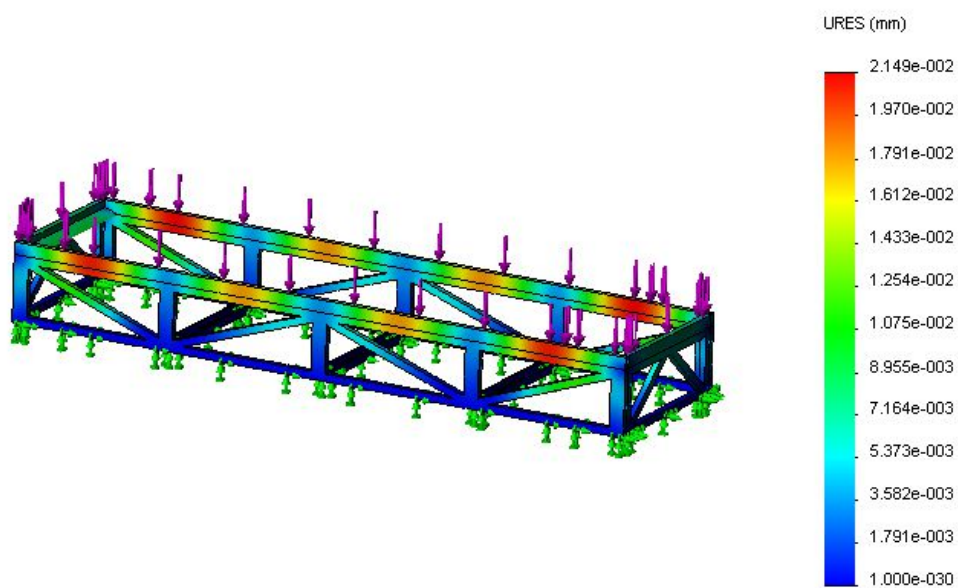


Рис 3.3 – Епюра деформацій опори апарату

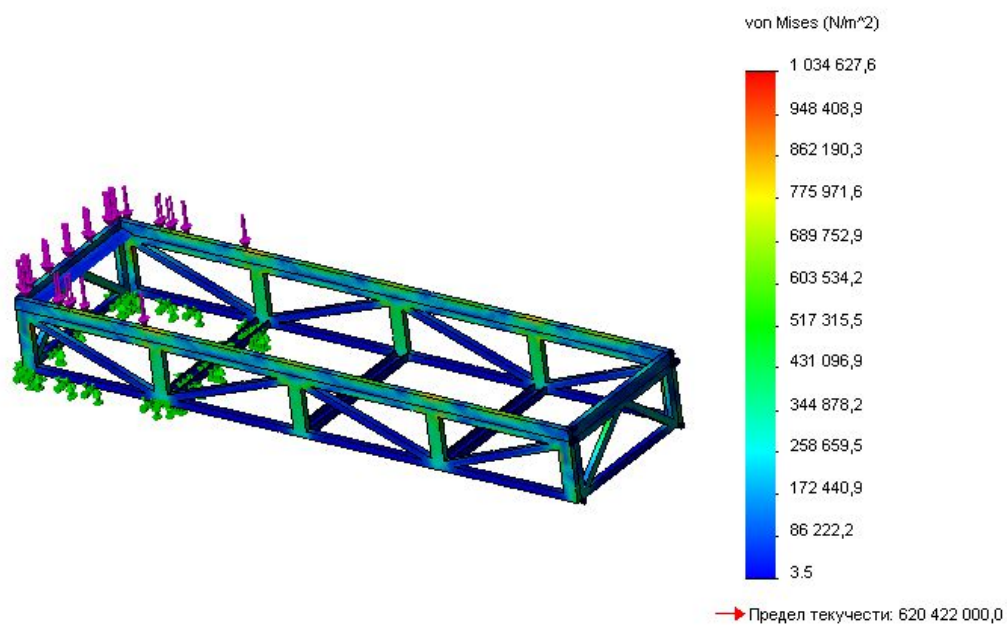


Рис 3.4 – Епюра напружень опори апарату

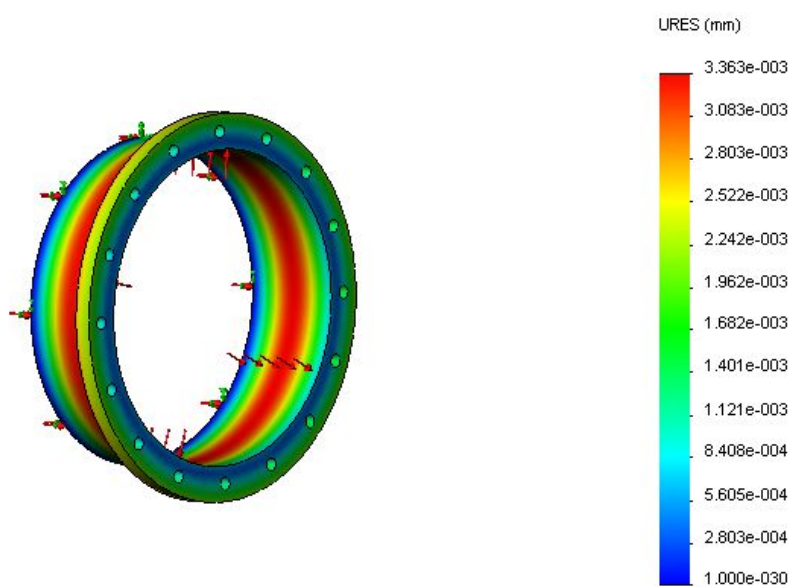


Рис 3.5 – Епюра деформацій штуцера корпуса

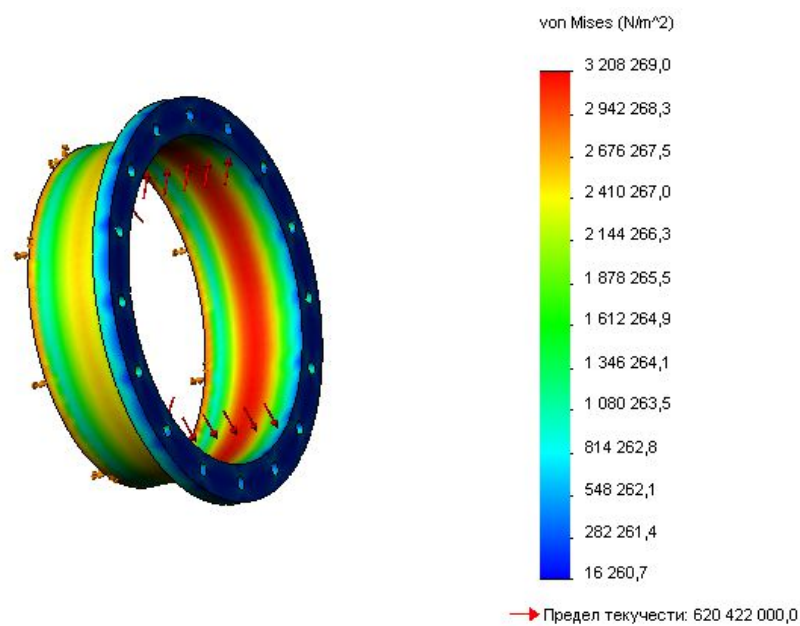


Рис 3.6 – Епюра напружень штуцера корпуса

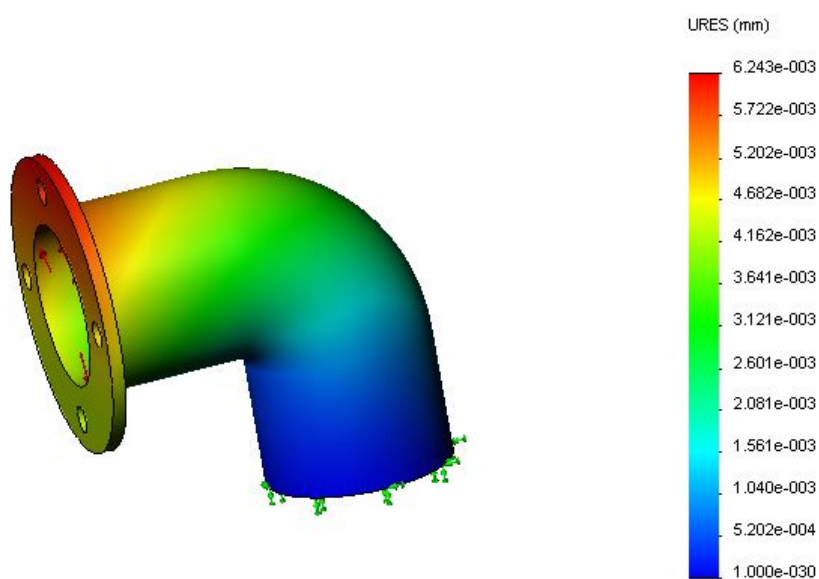


Рис 3.7 – Епюра деформацій штуцера теплообмінного елемента

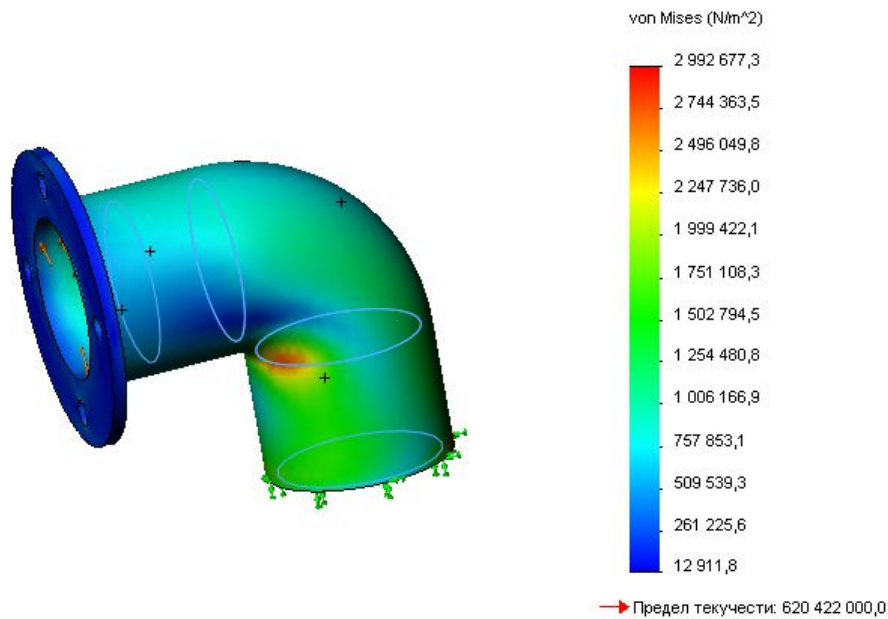


Рис 3.6 – Епюра напружень штуцера теплообмінного елемента

3.3. Аналіз результатів моделювання

На рисунку 3.3 представлена епюра деформацій опори апарату. Максимальна деформація знаходиться в червоних зонах і складає 21,49 мм.

На рисунку 3.4. представлена епюра напружень опори апарату. Максимальна деформація знаходиться в червоних зонах і складає 1034 МПа.

На рисунку 3.5. представлена епюра деформацій штуцера корпусу апарату. Максимальна деформація знаходиться в червоних зонах і складає 3,36 мм.

На рисунку 3.6. представлена епюра напружень штуцера корпусу апарату. Максимальна деформація знаходиться в червоних зонах і складає 3208 МПа.

На рисунку 3.7. представлена епюра деформацій штуцера теплообмінного елемента. Максимальна деформація знаходиться в червоних зонах і складає 6,24 мм.

На рисунку 3.8. представлена епюра напружень штуцера теплообмінного елемента. Максимальна деформація знаходиться в червоних зонах і складає 2992 МПа.

3.4. Висновок

Після побудови епюр напружень та деформацій конструктивних елементів апарату виявилось, що умова міцності і стійкості виконується, а деформації знаходяться в допустимих межах.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

4.1. Опис технологічного процесу очищення стічної води виробництва

Анаеробний біореактор з іммобілізованою мікрофлорою використовується установах очищення стічної води виробництва кормових дріжджів.

Апаратурно-технологічну схему установки очищення води виробництва кормових дріжджів з річною потужністю 30000т.представлена на рисунку 4.1. [9].

Установа складається ступені механічної обробки, змішувача-усереднювача, двох анаеробних біореакторів, які працюють паралельно, аеробного біореактору, вторинного освітлювача, станції дозування реагентів, станції зневоднення осаду на стрічковому фільтрпресі, біофільтру для очищення відпрацьованого повітря.

Попередньо крупні механічні домішки, що містяться у стічній воді, видаляються на барабанних решітках РБ1, РБ2. На первинному відстійнику ВПЗ відбувається видалення легкоосаджувальних домішок. Змішувач-осереднювач ЗУ4 забезпечує накопичення та перемішування стоку, а також попереднє біологічне закисання органічних речовин, що сприяє більш ефективній біологічній обробці у подальшому. Також до змішувача-осереднювача ЗУ4 додається луг для доведення рН стоку до нейтрального.

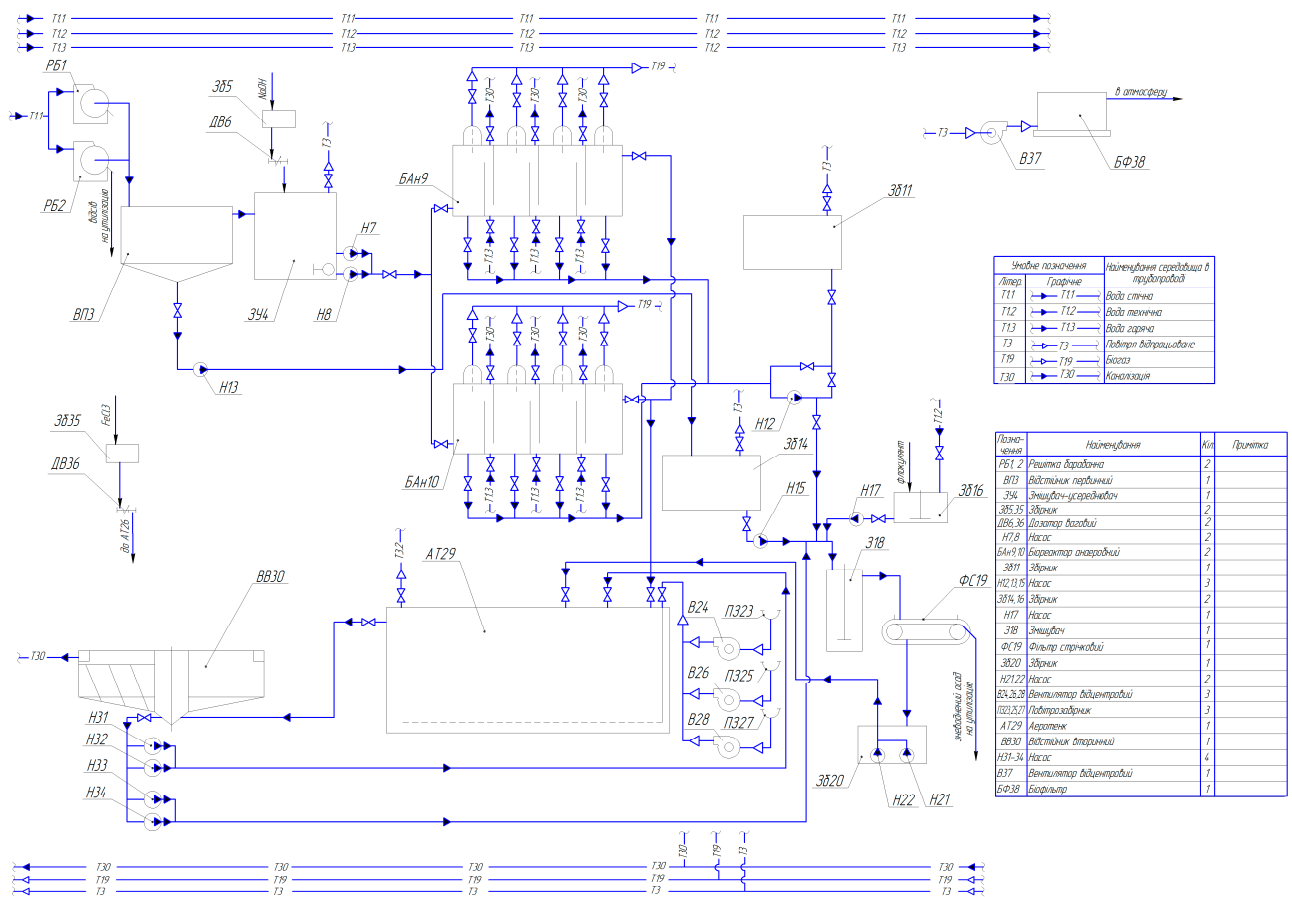


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема

Основним елементом системи очищення стічної води є блок анаеробних біореакторів БАН9, БАН10, які працюють паралельно. Для оптимальної роботи реактора автоматично регулюються витрата води, температура, рН. У результаті анаеробного очищення органічні сполуки розпадаються до метану та вуглекислого газу. Біогаз, який містить 75-80% метану, поступає до когенераційної установки, де біогаз спалюється з виділенням теплової та електричної енергії, за рахунок якої забезпечується функціонування установки. У анаеробних біореакторах здійснюється очищення стічної води від $6,5 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$ до $0,975 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$, тобто забезпечується ступінь очищення 85%. Аеробне доочищення стічної води відбувається в аеробному реакторі АТ29. У анаеробних біореакторах здійснюється очищення стічної води від $0,975 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$ до $0,3 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$, тобто забезпечується загальна ступінь очищення стічної води 95,4%. Очищений стік освітлюється на вторинному відстійнику

ВВ30. З вторинного відстійника вода самопливом поступає до міської каналізації. Осад з первинного відстійника ВПЗ, анаеробних біореакторів БАН9, БАН10, вторинного відстійника ВВ30 за допомогою фекальних насосів Н12, Н13, Н15, Н33, Н34 подається на ступінь зневоднення осаду. При цьому осад з анаеробних біореакторів БАН9, БАН10 збирається у Зб11, осад з відстійників ВПЗ, ВВ30 – у Зб14, з яких періодично завантажується до змішувача З18, до якого також подається флокулянт. Зі змішувача З18 осад поступає на стрічкових фільтрпрес ФС19. Зневоднений осад підлягає утилізації, вода з фільтрпресу поступає на очищення у аеробний реактор АТ29.

Повітря для аерації до аеротенку подається за рахунок вентиляторів В24, В26, В28. Повітря забирається з атмосфери за допомогою повітрозбірників ПЗ23, ПЗ25, ПЗ27. Відпрацьоване повітря очищується на біофільтрі БФ38 та викидається в атмосферу.

В результаті проведених патентних досліджень встановлено, що останнім часом винахідницька активність промислово розвинених країн у природоохоронній галузі, де використовуються анаеробні реактори для очищення стічних вод, зокрема біофільтри, залишається стабільною. При цьому вдосконалення існуючих конструкцій ведеться у сфері об'єднання переваг різних конструкцій реакторів, вдосконаленні конструктивних елементів анаеробних біореакторів, зокрема завантаження та газовідділюючих пристроїв. У розробці нових апаратів активну участь приймає і Україна. При цьому запатентовані винаходи й корисні моделі стосуються як апаратів в цілому, так і його складових частин.

4.2. Призначення та область застосування апаратів

Анаеробний біореактор з іммобілізованою мікрофлорою призначений для очищення стічної води виробництва кормових дріжджів.

На рисунку 4.2 наведена принципова схема роботи анаеробного біореактора.

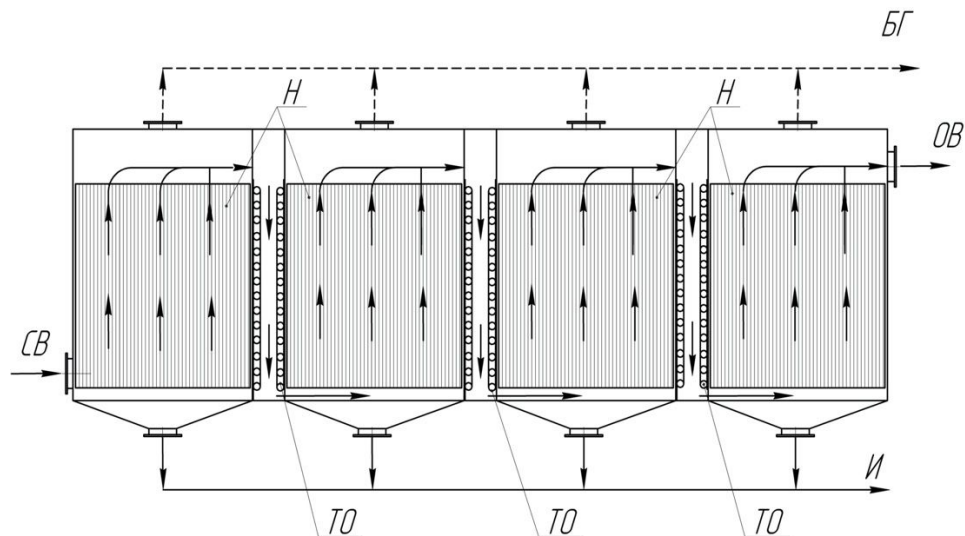


Рис. 4.2 – Принципова схема роботи біореактора з іммобілізованою на нерухомих носіях мікрофлорою: СВ – стічна вода; ОВ – очищена вода; БГ – вихід біогазу; Н – блоки носіїв; ТО – теплообмінні пристрої; І - випуск відпрацьованого активного мулу

Стічна вода надходить в секцію знизу і висхідним потоком проходить через завантаження у вигляді вертикально розмішених полімерних листів з закріпленою на них мікрофлорою [38]. Між секціями встановлені переточки, які забезпечують рух стічної води в наступній секції знизу вгору [39]. Поділ реактора на кілька секцій дозволяє розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора. Реакційний простір може згодом розглядатися як ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в першій секції і метаногенезом в кінці реактора [39]. Така організація реактора дозволяє активній біомасі краще протистояти залповим навантаженням.

Реактор використовується для першого ступеня очищення стічної води виробництва кормових дріжджів. Річна потужність виробництва 30000т. За даними [9] на 1т готової продукції вихід стічної води складає $45-53\text{ м}^3$. Тоді приймаємо добову витрату стічної води $2000\text{ м}^3/\text{доба}$. Температур а стічної води складає $35-37^\circ\text{C}$, отже приймаємо, що у біореакторі відбувається анаеробне бродіння у мезофільному режимі при температурі середовища $t_{\text{сер}} = 35^\circ\text{C}$.

Для вибору матеріалів використовуємо технічні вимоги і технічну характеристику, яким має задовольняти апарат. Враховуючи, що тиск в апараті не перевищує 0,3 МПа, а температура 40°C - для частин апарату, середовище у апараті є неагресивним, з нейтральним значенням рН, обираємо сталь 16ГС ГОСТ 19281- 89, що є конструкційною низколегованою сталлю для зварних конструкцій, яка не вступає в реакцію з стічною водою, що очищається. Дана марка сталі має дуже низький зміст вуглецю та особливо підходить для виготовлення зварених конструкцій.

4.3. Технічна характеристика біореактора з іммобілізованою мікрофлорою

Біореактор з іммобілізованою мікрофлорою призначений для локального очищення води стічної у анаеробних умовах.

1. Об'єм корпусу апарату, м ³	1000
2. Робочий тиск, МПа	0,1
3. Граничне навантаження, кг/м ³	
по БСК _{полн}	8
по ХСК	12
4. Завантаження	листи полімерні
5. Поверхня завантаження, м ²	52800
6. Середовище	вода стічна
7. Теплоносій	вода технічна
8. Температура, °C	
середовища	37
теплоносія на вході	95
теплоносія на виході	85
9. Поверхня теплообміну, м ²	45
10. Габаритні розміри, мм	
довжина	22770
ширина	5780
висота	12000
11. Маса апарату, кг	40000

4.4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції біореактора з іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води

Вихідні дані:

Витрати стічної води, $\text{м}^3 / \text{добу}$	$Q = 2000$
ХСК, $\text{кгO}_2 / \text{м}^3$	$S_0 = 6,5$
БСК ₅ , $\text{кгO}_2 / \text{м}^3$	$L_{\text{en}} = 3,2$
Концентрація лімітуючого субстрату, $\text{кг} / \text{м}^3$	$S = 0,02$
Температура процесу, $^{\circ}\text{C}$	$t = 35$
Ефективність очищення, %	$E = 85$

4.4.1. Розрахунок площі поверхні завантаження біореактора з іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води

У якості завантаження анаеробного біореактора з іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води використовуються блоки, які складаються з плоско паралельних нерухомих листів виготовлених з полімерного матеріал [38, 39].

Біореактор обираємо за максимальним значенням поверхні завантаження, і за об'ємним навантаженням на мул по ХСК[42]:

$$F_{\min} \geq \max \{F_{\text{г.з.}}; F_{\text{н.м.}}\}, \quad (4.1)$$

де F_{\min} – мінімальна поверхня завантаження біореактора, м^2 ;

$F_{\text{г.з.}}$ – необхідна поверхня завантаження за розрахунком гідравлічного навантаження, м^2 ;

$F_{\text{н.м.}}$ – необхідна поверхня завантаження за розрахунком об'ємного навантаження на мул по ХСК м^2 .

Приймаємо питому площу завантаження за [42] $F_{\text{пит}} = 100 \text{ м}^2/\text{м}^3$.
Гідравлічне навантаження на поверхню приймаємо за [51-52]
 $q = 14,7 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{добу})$.

Прикладене поверхнєве навантаження визначаємо за формулою [51-52]:

$$CSA = \frac{S_0 q}{F_{\text{пит}}} = \frac{6,5 \cdot 14,7}{100} = 0,9555 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ доба}). \quad (4.2)$$

Мінімальна поверхня завантаження за розрахунком гідравлічного навантаження [42]:

$$F_{\text{г.з.}} = \frac{S_0 Q}{CSA} = \frac{6,5 \cdot 2000}{0,9555} = 13605 \text{ м}^2. \quad (4.3)$$

Необхідна поверхня завантаження за розрахунком об'ємного навантаження на мул по ХСК [42]:

$$F_{\text{н.м.}} = \frac{Q \cdot S_0}{B_x \cdot \delta_{\text{пл}} \cdot X_2} = \frac{2000 \cdot 6,5}{5 \cdot 0,002 \cdot 25} = 52000 \text{ м}^2. \quad (4.4)$$

Де $B_x = 5 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{кг}_{\text{БВБ}}$ - навантаження на мул по ХСК, виходячи з температури ферментації і типу стоку, для анаеробних біофільтрів [51-52];

$\delta_{\text{пл}} = 0,002 \text{ м}$ – товщина біоплівки;

$X_2 = 25 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$ – концентрація біомаси у біоплівці.

Обираємо площу завантаження за навантаженням на мул.

Тоді площа завантаження реактора $F_{\text{мін}} = 52000 \text{ м}^2$.

4.4.2. Розрахунок числа секцій завантаження

Визначаємо загальну поверхню секції завантаження:

$$F_{\text{с.з.}} = 2 \cdot n \cdot L \cdot H = 2 \cdot 220 \cdot 5 \cdot 6 = 13200 \text{ м}^2. \quad (4.5)$$

Де $n=220$ – кількість листів в секції завантаження:

$L = 5 \text{ м}$ - довжина листа;

$H = 6 \text{ м}$ - ширина листа.

Кількість секцій завантаження визначаємо за формулою:

$$Z \geq \frac{F_{\min}}{F_{\text{с.з.}}} \geq \frac{52000}{13200} \geq 3,9. \quad (4.6)$$

Обираємо чотири секції, тоді площа поверхні завантаження біореактора дорівнює:

$$F = 4 \cdot 13200 = 52800 \text{ м}^2. \quad (4.7)$$

Перевіряємо розходження площі поверхні завантаження і мінімальної необхідної площі поверхні біореактора:

$$\frac{F - F_{\min}}{F_{\min}} \cdot 100\% = \frac{52800 - 52000}{52000} = 1,53\%. \quad (4.8)$$

Розходження площі поверхні завантаження і мінімальної необхідної площі поверхні реактора не перевищує 5%. Отже приймає площу поверхні завантаження $F=52800 \text{ м}^2$.

Прийmemo відстань між пластинами завантаження $\delta = 0,02 \text{ м}$. Товщина листа $\delta_{\text{л}} = 0,002 \text{ м}$.

Робочий об'єм кожної секції:

$$V_{\text{pc}} = nLH\delta = 220 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 0,02 = 132 \text{ м}^3. \quad (4.9)$$

Загальний об'єм секції:

$$V_{\text{с}} = nLH(\delta + \delta_{\text{л}}) = 220 \cdot 5 \cdot 6 \cdot (0,02 + 0,001) = 138,6 \text{ м}^3. \quad (4.10)$$

Робочий об'єм реактора (без врахування об'єму перетоків):

$$V_{\text{p}} = 4V_{\text{pc}} = 4 \cdot 132 = 528 \text{ м}^3. \quad (4.11)$$

З врахуванням об'єму перетоків (ширина перетоку 0,5м):

$$V_{\text{p}}' = 4V_{\text{pc}} + 3V_{\text{п}} = 4 \cdot 132 + 3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 6 = 573 \text{ м}^3. \quad (4.12)$$

Прийmemo ступінь заповнення 0,6. Тоді номінальний об'єм реактора:

$$V_H = \frac{3V_c + 2V_p}{0,6} = \frac{4 \cdot 138,6 + 3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 6}{0,6} = 1000 \text{ м}^3. \quad (4.13)$$

Час гідравлічного перебування за [19]:

$$\text{HRT} = \frac{24V_p}{Q} = \frac{24 \cdot 573}{2000} = 6,88 \text{ год}. \quad (4.14)$$

4.4.3. Розрахунок кількості біогазу

Розрахунок проводиться на основі матеріального балансу [42].

Розрахункова схема матеріального балансу представлена на рисунку 3.

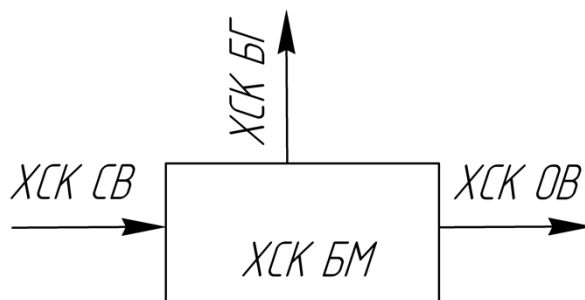


Рис. 4.3 – Розрахункова схема матеріального балансу:

Позначимо:

ХСК СВ – кількість ХСК, що поступає у реактор зі стічною водою;

ХСК ОВ – кількість ХСК, що відводиться з реактору з очищеною водою;

ХСК БГ – кількість ХСК, яка перетворюється у біогаз;

ХСК БМ – кількість ХСК, яка перетворюється у біомасу.

Визначаємо ХСК стоку на виході [42]:

$$S_2 = S_0(1 - E) = 6,5 \cdot (1 - 0,85) = 0,975 \text{ кгО}_2 / \text{м}^3, \quad (4.15)$$

де $Y_{\text{набл.}} = 0,1 \text{ кг}_{\text{БМ}} / \text{кг}_{\text{ХСК}}$ - спостережний приріст біомаси.

Приймаємо [42] $Q_1 \approx Q_2$.

Кількість ХСК, перетворена на біогаз складатиме:

$$M = Q_1 S_0 - Q_1 (S_0 - S_2) Y_{\text{набл.}} - Q_2 S_2 = 2000 \cdot 6,5 - 2000 \cdot (6,5 - 0,975) \cdot 0,1 - 2000 \cdot 0,975 = 9950 \text{ кг}_{\text{ХСК}} / \text{доба}. \quad (4.16)$$

Швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз:

$$r_a = \frac{Q_1 S_0 - Q_1 (S_0 - S_2) Y_{\text{набл.}} - Q_2 S_2}{A \cdot \delta_{\text{пл}} X_2}$$

$$r_a = \frac{M}{A \cdot \delta_{\text{пл}} X_2} = \frac{9945}{52800 \cdot 0,002 \cdot 25} = 3,77 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}). \quad (4.17)$$

Перевіримо швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз через її максимальне значення.

Максимальна швидкість перетворення субстрату у біогаз [42]:

$$r_{a \text{ макс}} = \frac{\mu_{\text{макс}}}{Y_{\text{макс}}} \cdot \frac{S}{S + K_{S \text{ макс}}} \cdot X_2 = \frac{0,5}{0,3} \cdot \frac{0,02}{0,02 + 0,1} \cdot 25 = 6,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}) \quad (4.18)$$

де $\mu_{\text{макс}} = 0.5 \text{ доба}^{-1}$ – максимальна питома швидкість росту біомаси[42];

$Y_{\text{макс}} = 0.3 \text{ кг}_{\text{БМ}}/\text{кг}_{\text{ХСК}}$ – максимальний приріст біомаси[42];

$S = 0.2$ – концентрація лімітуючого субстрату, за [42] приймаємо рівною концентрації органічних кислот;

$K_{S \text{ макс}} = 0.1$ – постійна напівнасичення[42].

Перевіримо швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз.

$$r_a < r_{a \text{ макс}} \quad \Leftrightarrow \quad 3,77 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}) < 6,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}).$$

Умова виконується.

Визначаємо кількість утвореного біогазу, з урахуванням того, що з 1кг знятої ХСК при 35°C [44] утворюється 0,39 м³ біогазу:

$$V = 0,39M = 0,39 \cdot 9950 = 3880 \text{ м}^3/\text{доба}. \quad (4.19)$$

Маса біогазу:

$$m_{\text{бг}} = \rho_{\text{бг}} \cdot V = 1.2 \cdot 3880 = 4656 \text{ кг}/\text{доба}. \quad (4.20)$$

де $\rho_{\text{бг}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$. - густина біогазу.

4.4.4. Перевірка швидкості потоку рідини у біореакторі

Стічна вода, протікаючи по реактору, проходить шлях, рівний 5Н завантаження, тобто 30м. З врахуванням фактичного часу перебування $HRT = 6,88 \text{ год}$, середня швидкість рідини:

$$w_{cp} = \frac{5H}{HRT} = \frac{30}{3600 \cdot 6,88} = 0,0012 \text{ м/с.} \quad (4.21)$$

Умова нормального перетікання процесу:

$$w_{cp} < [w_{cp}] \quad \Leftrightarrow \quad 0,0012 \frac{\text{м}}{\text{с}} < 0,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{де } [w_{cp}] = 0,06 \text{ м / с}$$

Умова виконується.

Швидкість рідини в перетоці:

$$w_{пер.} = \frac{Q_1}{24 \cdot 3600 S_{пер}} = \frac{2000}{24 \cdot 3600 \cdot 5 \cdot 0,5} = 0,009 \text{ м/с.} \quad (4.22)$$

Швидкість рідини між пластинами реакційної зони:

$$w_{сек.} = \frac{Q_1}{24 \cdot 3600 S_{сек}} = \frac{2000}{24 \cdot 3600 \cdot 5 \cdot 6} = 0,0008 \text{ м/с.} \quad (4.23)$$

4.4.5. Тепловий розрахунок реактора

Мета теплового розрахунку:

- визначення теплового навантаження теплообмінних пристроїв біореактора;
- розрахунок поверхні теплообміну теплообмінних пристроїв біореактора.

4.5.5.1. Визначення теплового навантаження теплообмінних пристроїв біореактора

Розрахункова схема теплового балансу реактора представлена на рисунку

4.

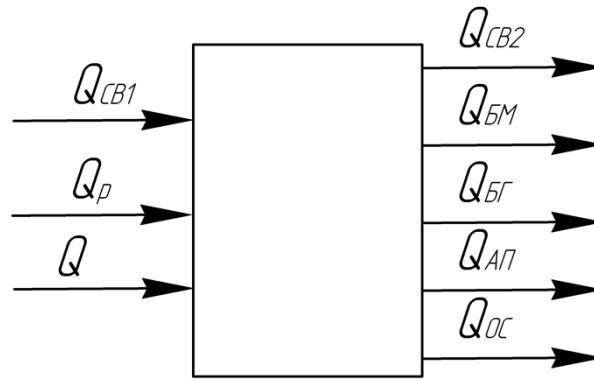


Рис. 4.4 – Розрахункова схема теплового балансу реактора:

Q_{CB1} – кількість теплоти, що вноситься у реактор з стічною водою;

Q_p – теплота реакції розкладання органічних забруднень і синтезу біогазу;

Q – теплота, що підводиться до реактору за допомогою теплообмінних пристроїв;

Q_{CB2} – теплота, що витрачається з відводом відпрацьованої стічної води;

Q_{BG} – теплота, що витрачається з утворенням біогазом;

Кількість теплоти, що вноситься у реактор з стічною водою:

$$Q_{CB1} = c_v \cdot G_{CB1} \cdot t = 4180 \cdot \frac{2000}{3600 \cdot 24} \cdot 10^3 \cdot 20 = 1.94 \cdot 10^6 \text{ Вт.} \quad (4.24)$$

Мольні витрати біогазу:

$$\Gamma = \frac{m_{BG}}{0,64M_{CH_4} + 0,34M_{CO_2}} = \frac{4656 \cdot 10^3}{3600 \cdot 24 \cdot (0,64 \cdot 16 + 0,34 \cdot 44)} = 2,1 \text{ моль}_{BG}/\text{с.} \quad (4.25)$$

Теплота реакції розкладання органічних забруднень при синтезі біогазу визначається з загальної теплоти реакції:

$$Q_p = q_p \cdot v_{BG} = 1.07 \cdot 10^5 \cdot 2,1 = 2.25 \cdot 10^5 \text{ Вт;} \quad (4.26)$$

де $q_p = 1.7 \cdot 10^5 \text{ Дж/моль}$ питома теплота реакції мікробного розкладу органічної речовини стічної води [43].

Кількість теплоти, що втрачається з утворенням біогазом:

$$Q_{\text{БГ}} = c_{\text{БГ}} \cdot m_{\text{БГ}} \cdot t = 2,02 \cdot 10^3 \cdot \frac{4656}{3600 \cdot 24} \cdot 35 = 3.81 \cdot 10^3 \text{ Вт.} \quad (4.27)$$

де $c_{\text{БГ}} = 2,02 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – питома теплоємність біогазу.

Кількість теплоти, що втрачається з відводом відпрацьованої стічної води:

$$Q_{\text{СВ2}} = c_{\text{в}} \cdot G_{\text{СВ2}} \cdot t = 4180 \cdot \frac{2000}{3600 \cdot 24} \cdot 10^3 \cdot 35 = 3.39 \cdot 10^6 \text{ Вт.} \quad (4.28)$$

Теплове навантаження теплообмінних пристроїв з урахуванням 3–5 % втрат теплоти у навколишнє середовище:

$$Q = 1,05(Q_{\text{БГ}} + Q_{\text{СВ2}}) - Q_{\text{СВ1}} - Q_{\text{п}} = 1,05 \cdot (3.81 \cdot 10^3 + 3.39 \cdot 10^6) - 1.94 \cdot 10^6 - 2.25 \cdot 10^5 = 1.39 \cdot 10^6 \text{ Вт} \quad (4.28)$$

4.4.5.2. Розрахунок поверхні теплообміну теплообмінних пристроїв біореактора

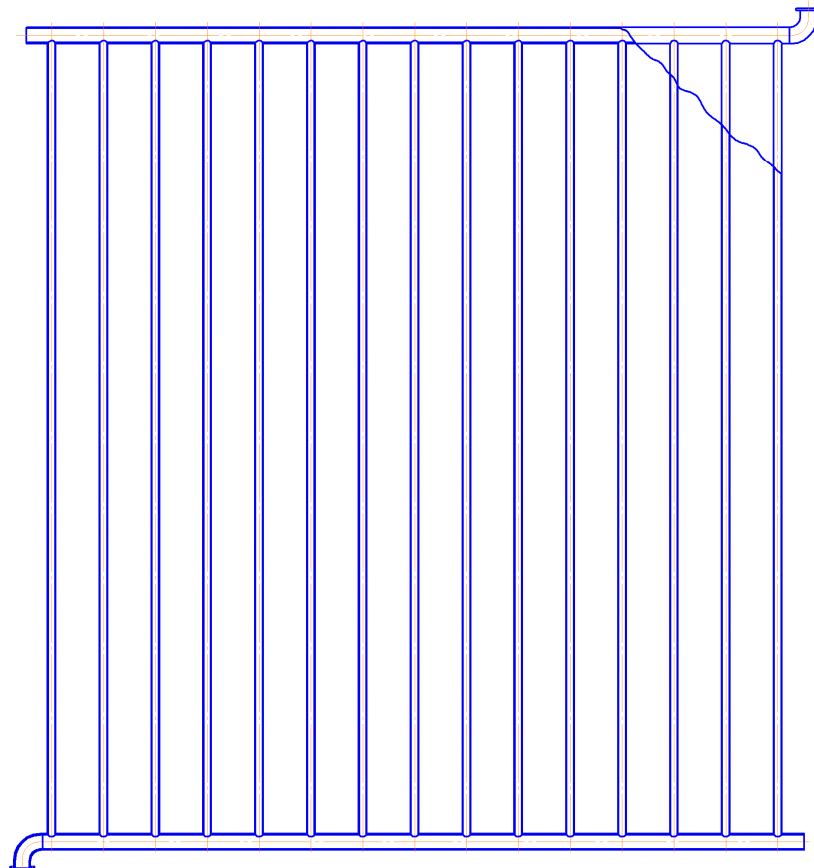


Рис. 4.5 – Схема теплообмінного елементу

Для забезпечення температурного режиму роботи біореактора в нижній частині кожної секції завантаження змонтований теплообмінний пристрій, який складається з горизонтальних теплообмінних труб. Теплоносії поступає в теплообмінні труби і виводиться з них через труби-колектори.

Масова витрата теплоносія в трубах:

$$G_T = \frac{Q}{c_T \cdot \Delta t} = \frac{1.39 \cdot 10^6}{4200 \cdot 5} = 66,2 \text{ кг/с.} \quad (4.29)$$

де $\Delta t_T = 5^\circ \text{C}$ - перепаду температур теплоносія на вході і виході в теплообмінний пристрій;

$c_T = 4200 \text{ кДж/(кг K)}$ –теплоємність теплоносія.

Середня різниця температур між теплоносієм і середовищем в біореакторі:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} = \frac{27 + 20}{2} = 22,5^\circ \text{C}, \quad (4.30)$$

де $\Delta t_6 = 60 - 33 = 27^\circ \text{C}$ і $\Delta t_m = 55 - 35 = 20^\circ \text{C}$.

Приймаємо орієнтовний коефіцієнт теплопередачі $K_{op} \approx 700 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$.

Орієнтовна площа поверхні теплообмінного пристрою, знаходимо з основного рівняння теплопередачі:

$$F_{op.} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1.39 \cdot 10^6}{700 \cdot 22,5} = 88,2 \text{ м}^2. \quad (4.31)$$

Обираємо розмір теплообмінної труби. $d_{зов} \times s = 60 \times 4 \text{ мм},$.

Задаємо розміри теплообмінного пристрою:

Ширина секції завантаження - 6м.

Довжина секції завантаження - 5м.

Кількість теплообмінних пристроїв $n=4$.

Довжина теплообмінної труби $L_{тр} = 5,5 \text{ м}.$

Кількість теплообмінних труб $Z=15$,

Довжина колекторних труб $L_k=5 \text{ м},$

Сумарну довжину теплообмінних труб колекторних труб визначаємо за формулою:

$$L_c = 15 \cdot L_{тр} + 2 \cdot L_k = 15 \cdot 6 + 2 \cdot 5 = 100 \text{ м} \quad (4.32)$$

Дійсна площа теплообміну 4 -ох теплообмінних пристроїв можна виразити як:

$$F_T = 4 \cdot L_c \cdot \pi \cdot d_{зов} = 4 \cdot 100 \cdot 0,06 \cdot 3,14 = 75 \text{ м}^2 \quad (4.33)$$

Швидкість теплоносія у теплообмінній трубі:

$$w_T = \frac{4 \cdot G_T}{\rho_T \cdot n \cdot Z \cdot \pi \cdot d_{вн}^2} = \frac{4 \cdot 33,1}{965 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 3,14 \cdot 0,052^2} = 0,268 \text{ м/с} \quad (4.34)$$

де $\rho_T = 965 \text{ кг/м}^3$. - густина теплоносія.

Критерій Рейнольдця для теплоносія в теплообмінному пристрої:

$$Re = \frac{w_T \cdot d_{вн} \cdot \rho_T}{\mu_T} = \frac{0,268 \cdot 0,052 \cdot 965}{0,315 \cdot 10^{-3}} = 4 \cdot 10^4 \quad (4.35)$$

де $\mu_T = 0,315 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$. коефіцієнт динамічної в'язкості теплоносія.

Критерій Прандтля для теплоносія у теплообмінному пристрої при 90°C:

$$Pr = \frac{c_T \mu_T}{\lambda_T} = \frac{4200 \cdot 0,315 \cdot 10^{-3}}{0,68} = 1,95 \quad (4.36)$$

де $\lambda_T = 0,68 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. коефіцієнт теплопровідності теплоносія.

Критерій Нусельта:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot (4 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 1,95^{0,43} = 134 \quad (4.37)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія в теплообмінному пристрої до середовища в біореакторі:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_T}{d_{вн}} = \frac{134 \cdot 0,68}{0,052} = 1752 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.38)$$

Швидкість руху стічної води під навантаженням має низькі значення, що дозволяє припустити, що перенос теплової енергії на межі теплообмінна труба – середовище в біореакторі (стічна вода) відбувається в умовах вільної конвекції

Критерій Грасгофа для стічної води визначаємо за формулою:

$$Gr_B = \frac{g \cdot d_{30B}^3 \cdot \rho_B^2}{\mu_B^2} = \frac{9,8 \cdot 0,06^3 \cdot 995^2}{(0,76 \cdot 10^{-3})^2} = 3,628 \cdot 10^9. \quad (4.39)$$

де $\mu_B = 0,76 \cdot 10^{-3}$ Па · с. коефіцієнт динамічної в'язкості стічної води;

$\rho_B = 995$ кг / м³. густина стічної води.

Критерій Прандтля для стічної води при 35°C:

$$Pr_B = \frac{c_B \cdot \mu_B}{\lambda_B} = \frac{4180 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3}}{0,62} = 5,12. \quad (4.40)$$

де $\lambda_B = 0,62$ Вт/(м · К). - коефіцієнт теплопровідності стічної води.

Добуток критеріїв Грасгофа і Прандтля для стічної води:

$$Gr \cdot Pr = 3,628 \cdot 10^9 \cdot 5,12 = 1,86 \cdot 10^{10}. \quad (4.41)$$

Тоді критерій Нусельта:

$$Nu = 0,135 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} = 0,135 \cdot (1,86 \cdot 10^{10})^{0,33} = 292. \quad (4.42)$$

Коефіцієнт тепловіддачі до стічної води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_B}{d_{30B}} = \frac{292 \cdot 0,62}{0,06} = 3017 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (4.43)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1752} + \frac{0,004}{46,5} + \frac{1}{3017}} = 1012 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (4.44)$$

Розрахункова поверхня теплообміну теплообмінних пристроїв становить:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{1,39 \cdot 10^6}{1012 \cdot 22,5} = 61 \text{ м}^2. \quad (4.45)$$

Попередньо розрахована дійсна поверхня теплообміну $F_T = 75 \text{ м}^2$ більша за розрахункову, отже умови теплообміну в біореакторі виконуються.

4.5. Конструктивний розрахунок біореактора

У корпусі біореактора встановлюється чотири секції завантаження, на яких розташовані полімерні листи прямокутної форми з розмірами:

- довжина листа - $a = 5,0$ м;
- ширина листа - $b = 6,0$ м;
- товщина листа $\delta_{\text{л}} = 1$ мм ;
- відстань між листами $\delta = 20$ мм .

Поверхня одного листа завантаження з урахуванням того, що біоплівка утворюється з обох сторін листа:

$$F_{\text{л}} = 2 \cdot a \cdot b = 2 \cdot 5 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2. \quad (4.46)$$

Загальна поверхня завантаження:

$$F = 4 \cdot n \cdot F_{\text{л}} = 4 \cdot 220 \cdot 60 = 52800 \text{ м}^2. \quad (4.47)$$

Довжина блоку листів секції завантаження:

$$l_{\text{с}} = (n - 1)(\delta + \delta_{\text{л}}) = (220 - 1) \cdot (0,02 + 0,001) = 4,6 \text{ м}. \quad (4.48)$$

Приймаємо $l_{\text{с}} = 5$ м.

Тоді довжина довжина апарату:

$$L_{\text{а}} = 4 \cdot l_{\text{с}} + 3 \cdot l_{\text{перетока}} + 6\delta_{\text{перетинок}} + 2\delta_{\text{ст}} = 4 \cdot 5 + 3 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,004 + 2 \cdot 0,01 = 21,544 \text{ м}. \quad (4.49)$$

де $l_{\text{перетока}} = 0,5$ м - довжина перетоків;

$\delta_{\text{перетинок}} = 0,004$ м - товщина перетинок між секціями;

$\delta_{\text{ст}} = 0,01$ м - товщина стінок апарату.

Ступінь заповнення реактора $\varphi = 0,7$ Тоді загальним об'єм реактора:

$$V = \frac{L_{\text{р}} H_{\text{р}} b_{\text{р}}}{\varphi} = \frac{21,544 \cdot 6,3 \cdot 5,2}{0,7} = 1008 \text{ м}^3. \quad (4.50)$$

Приймаємо загальним об'єм реактора $V = 1000 \text{ м}^3$.

4.5.1. Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання - найбільш широко використовуваний вид роз'ємних з'єднань, що забезпечує герметичність та міцність конструкції, а також простоту виготовлення зборки та розборки.

При внутрішньому діаметрі $D = 1\text{ м}$ та внутрішньому тиску в апараті $P = 0,1\text{ МПа}$ обираємо плоскі приварні фланці [37]. За ГОСТ 7798-70 обираємо болт з діаметром стрижня 20 мм.

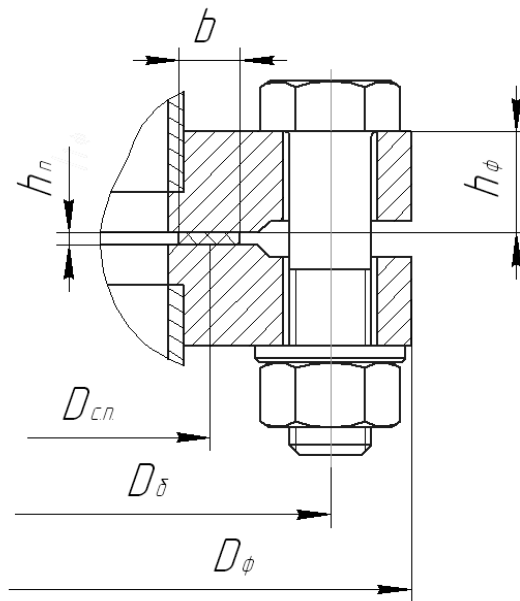


Рис. 4.6 – Фланець плоский приварний.

Діаметр болтової окружності:

$$D_{\delta} = D + 2(2s + d_{\delta} + u) = 1 + 2(2 \cdot 0,006 + 0,02 + 0,004) = 1,072\text{ м} \quad (4.51)$$

де $d_{\delta} = 20\text{ мм}$ - зовнішній діаметр болта при $D = 1\text{ м}$;

$u = 0,004\text{ м}$ - нормативний зазор [35].

Прийmemo $D_{\delta} = 1,09\text{ м}$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\phi} = D_{\delta} + a = 1,09 + 0,04 = 1,13\text{ м}, \quad (4.52)$$

де $a = 0,04 \text{ м}$ - конструктивна добавка для розміщення шестигранних гайок з діаметром болта $d_{\phi} = 0,02 \text{ м}$ по діаметру фланця.

Приймаємо діаметр фланця $D_{\phi} = 1,13 \text{ м}$ [38].

Зовнішній діаметр прокладки для плоского фланця:

$$D_{з.п.} = D_{\phi} - e = 1,09 - 0,03 = 1,06 \text{ м} \quad (4.53)$$

де $e = 0,03 \text{ м}$ - нормативний параметр для плоскої прокладки.

Середній діаметр прокладки:

$$D_{с.п.} = D_{з.п.} - b_n = 1,06 - 0,015 = 1,045 \text{ м} \quad (4.54)$$

де $b_n = 0,015 \text{ м}$ - ширина плоскої неметалевої прокладки.

Кількість болтів, що необхідна для забезпечення герметичності з'єднання [35]:

$$n_{\phi} \geq \frac{\pi D_{\phi}}{t_k} = \frac{3,14 \cdot 1,09}{0,09} = 38,03 \quad (4.55)$$

де $t_k = 4,5 \cdot d_{\phi} = 4,5 \cdot 0,02 = 0,09 \text{ м}$ - рекомендований крок розташування болтів.

Приймаємо кількість болтів $n_{\phi} = 40$, що кратне чотирьом.

Висота фланця:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \sqrt{Ds_{ек}} = 0,4 \sqrt{1 \cdot 0,006} = 0,031 \text{ м} \quad (4.56)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,4$ - поправочний коефіцієнт для плоских фланців, що працюють під робочим тиском до $P = 0,1 \text{ МПа}$; $s_{ек} = s = 0,006 \text{ м}$ - еквівалентна товщина для втулки плоских приварних фланців.

Приймаємо висоту фланця $h_{\phi} = 0,04 \text{ м}$ [38].

Розрахункова довжина болта:

$$l_{\phi} = l_{\phi.o} + 0,28d_{\phi} = 0,084 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,091 \text{ м} \quad (4.57)$$

де $l_{\phi.o} = 2(h_{\phi} + h_n) = 2(0,04 + 0,002) = 0,084 \text{ м}$ - відстань між опорними поверхнями головки болта та гайки при товщині прокладки, $h_n = 0,002 \text{ м}$.

Приймаємо довжину болта із ряду стандартних довжин з урахуванням ширини гайки та шайби $l_{\phi} = 112 \text{ мм}$.

Рівнодіюча внутрішнього тиску [38]:

$$F_{\phi} = \frac{\pi P D_{c.n.}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 1,045^2}{4} = 0,086 \text{ МН}. \quad (4.58)$$

Реакція прокладки:

$$R_n = \pi D_{c.n.} b_n k_{np} P = 3,14 \cdot 1,045 \cdot 0,015 \cdot 1 \cdot 0,1 = 0,0049 \text{ МН}, \quad (4.59)$$

де $k_{np} = 1$ - коефіцієнт для параніту з твердістю вище $1,2 \text{ МПа}$.

Зусилля, що виникає від температурних деформацій:

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{y_{\phi} n_{\phi} f_{\phi} E_{\phi} (\alpha_{\phi} t_{\phi} - \alpha_{\phi} t_{\phi})}{y_n + y_{\phi} + 0,5 y_{\phi} (D_{\phi} - D_{c.n.})^2} = \\ &= \frac{5,45 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,95 \cdot 10^5 (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 67,2 - 11,2 \cdot 10^{-6} \cdot 66,5)}{2,54 \cdot 10^{-3} + 5,45 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,629 (1,09 - 1,045)^2} = \\ &= 0,011 \text{ МН}, \end{aligned} \quad (4.60)$$

де $\alpha_{\phi} = 16,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^0}$ та $\alpha_{\phi} = 11,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^0}$ - відповідно коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланців (сталь 08X18H10T) та болтів (сталь 35X) [35];

$t_{\phi} = 0,96t = 0,96 \cdot 70 = 67,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - розрахункова температура неізолюваних фланців;

$t_{\phi} = 0,95t = 0,95 \cdot 70 = 66,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - розрахункова температура болтів;

$E_{\phi} = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ - модуль пружності для бовтів зі сталі 35X;

$f_{\phi} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ - розрахункова площа поперечного перерізу;

$n_{\phi} = 40$ - кількість болтів;

y_{ϕ}, y_n, y_{ϕ} - піддатливість відповідно болтів, прокладки фланців:

$$y_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{E_{\phi} f_{\phi} n_{\phi}} = \frac{0,1}{1,95 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 5,45 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}} \quad (4.61)$$

$$y_n = \frac{h_n}{E_n \pi D_{c.n.} b} = \frac{0,002}{16 \cdot 3,14 \cdot 1,045 \cdot 0,015} = 2,54 \cdot 10^{-3} \frac{м}{МН} \quad (4.62)$$

де $E_n = 16 МПа$ - модуль пружності для прокладки з параніту з твердістю вище 1,2 МПа [37].

$$y_\phi = \frac{[1 - \nu(1 + 0,9\lambda'_\phi)]\psi_2}{h_\phi^3 E} = \frac{[1 - 0,349(1 + 0,9 \cdot 0,516)]16,38}{0,04^3 \cdot 2 \cdot 10^5} =$$

$$= 0,629 \frac{1}{МН \cdot м}, \quad (4.63)$$

$$\lambda'_\phi = \frac{h_\phi}{\sqrt{Ds}} = \frac{0,04}{\sqrt{1 \cdot 0,006}} = 0,516; \quad (4.64)$$

$$\psi_2 = \frac{D_\phi + D}{D_\phi - D} = \frac{1,13 + 1}{1,13 - 1} = 16,38 \quad (4.65)$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9\lambda'_\phi(1 + \frac{\psi_1 h_\phi^2}{s_o^2})} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,516 \left(1 + \frac{0,068 \cdot 0,04^2}{0,006^2}\right)} = 0,349 \quad (4.66)$$

$$\psi_1 = 1,28 \lg\left(\frac{D_\phi}{D}\right) = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{1,13}{1}\right) = 0,068 \quad (4.67)$$

де $E = 2 \cdot 10^5 МПа$ - модуль пружності для фланця зі сталі 08Х18Н10Т.

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{жс} = \frac{y_{\bar{o}} + 0,5y_\phi(D_{\bar{o}} - D - s_o)(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})}{y_n + y_{\bar{o}} + 0,5y_\phi(D_{\bar{o}} - D_{c.n.})^2} =$$

$$= \frac{5,45 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,629(1,09 - 1 - 0,006)(1,09 - 1,045)}{2,54 \cdot 10^{-3} + 5,45 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,629(1,09 - 1,045)^2} = 0,385. \quad (4.68)$$

Болтове навантаження в умовах монтажу до подачі внутрішнього тиску:

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \begin{aligned} k_{жс} F_{\bar{o}} + R_n &= 0,385 \cdot 0,086 + 0,0049 = 0,038 МН \\ 0,5\pi D_{c.n.} b_o P_{np} &= 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,82 \cdot 0,015 \cdot 10 = 0,246 МН \end{aligned} \right\} =$$

$$= 0,246 МН, \quad (4.69)$$

де $P_{np} = 10 МПа$ - мінімальний тиск обхвату прокладки.

Болтові навантаження при робочих умовах:

$$F_{\delta_2} = F_{\delta_1} + (1 - k_{жс})F_{\delta} + F_t = 0,246 + (1 - 0,385)0,086 + 0,011 = 0,31 \text{ МПа} \quad (4.70)$$

Приведений згинаючий момент:

$$M_o = \max \left\{ \begin{aligned} &0,5(D_{\delta} - D_{c.n.})F_{\delta_1} = 0,5(1,09 - 1,045)0,246 = \\ &= 5,53 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м} \\ &0,5[(D_{\delta} - D_{c.n.})F_{\delta_2} + (D_{c.n.} - D - s_o)F_{\delta}] \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = \\ &= 0,5[(1,09 - 1,045)0,31 + (1,045 - 1 - 0,006)0,086] \frac{140}{135} = \\ &= 8,97 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м} \end{aligned} \right\} \quad (4.71)$$

$$M_o = 8,97 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}, \quad (4.72)$$

де $[\sigma]_{20} = 140 \text{ МПа}$ та $[\sigma] = 135 \text{ МПа}$ - відповідно допустиме напруження для матеріалу фланця при 20°C та при розрахунковій температурі $t = 70^\circ \text{C}$ [35].

Перевірка міцності та герметичності з'єднання [38]. Умова міцності болтів виконується:

$$\frac{F_{\delta_1}}{n_{\delta} f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta_{20}} \quad \frac{0,246}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 26,17 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа} \quad (4.73)$$

$$\frac{F_{\delta_2}}{n_{\delta} f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta} \quad \frac{0,31}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 32,97 \text{ МПа} < 127 \text{ МПа} \quad (4.74)$$

де $[\sigma]_{\delta_{20}} = 130 \text{ МПа}$, $[\sigma]_{\delta} = 127 \text{ МПа}$ - допустиме напруження для сталевих болтів при 20°C .

Умова міцності неметалевої прокладки з виконується:

$$\frac{F_{\delta_{\max}}}{\pi D_{c.n.} b} < [P_{np}] \quad \frac{0,31}{3,14 \cdot 1,045 \cdot 0,015} = 6,29 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа} \quad (4.75)$$

де $[P_{np}] = 20 \text{ МПа}$ - допустимий тиск обхвату прокладки твердістю від $1,2 \text{ МПа}$.

$$F_{\delta_{\max}} = \max \{F_{\delta 1}; F_{\delta 2}\} = \max \{0,246 \text{ МПа}; 0,31 \text{ МПа}\} = 0,231 \text{ МПа} \quad (4.76)$$

Максимальне напруження в перерізі фланця, що обмежений розміром s_o :

$$\sigma_0 = \frac{f_{\phi} T_{\phi} M_0 \nu}{D(s_1 - c)^2} = \frac{1 \cdot 1,86 \cdot 8,97 \cdot 10^{-3} \cdot 0,349}{1 \cdot (0,006 - 0,00085)^2} = 219,5 \text{ МПа} \quad (4.77)$$

де $s_1 = s_o$; $f_{\phi} = 1$, так як $\frac{s_1}{s_o} = 1$;

$D^* = D = 1 \text{ м}$, так як $D > 20s_o$ ($1 > 20 \cdot 0,006 = 0,12 \text{ м}$).

$$\begin{aligned} T_{\phi} &= \frac{D_{\phi}^2 \left[1 + 8,55 \lg \frac{D_{\phi}}{D} \right] - D^2}{(1,05D^2 + 1,945D_{\phi}^2) \left(\frac{D_{\phi}}{D} - 1 \right)} = \\ &= \frac{1,13^2 \left[1 + 8,55 \lg \frac{1,13}{1} \right] - 1^2}{(1,05 \cdot 1^2 + 1,945 \cdot 1,13^2) \left(\frac{1,13}{1} - 1 \right)} = 1,86. \end{aligned} \quad (4.78)$$

Напруження на втулці від внутрішнього тиску:

- тангенційне:

$$\sigma_t = \frac{PD}{2(s_o - c)} = \frac{0,1 \cdot 1}{2(0,006 - 0,00085)} = 9,7 \text{ МПа} \quad (4.79)$$

- меридіальне:

$$\sigma_m = \frac{PD}{4(s_o - c)} = \frac{0,1 \cdot 1}{4(0,006 - 0,00085)} = 4,85 \text{ МПа} \quad (4.80)$$

Умова міцності для перерізу, що обмежений розміром $s = 0,004 i$, виконується:

$$\begin{aligned} &\sqrt{(\sigma_o + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_o + \sigma_m)\sigma_t < \varphi[\sigma]_o, \\ &\sqrt{(219,5 + 4,85)^2 + 9,7^2} - (219,5 + 4,85) \cdot 9,7 = \\ &= 219,6 \text{ МПа} < 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ МПа}, \end{aligned} \quad (4.81)$$

де $[\sigma]_o = 0,003E = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}$ - допустиме напруження у фланці.

Кільцеве напруження у кільці фланця:

$$\sigma_{\kappa} = \frac{M_o [1 - \nu(1 + 0,9\lambda'_{\phi})] \psi_2}{Dh_{\phi}^2} =$$

$$= \frac{8,97 \cdot 10^{-3} [1 - 0,349(1 + 0,9 \cdot 0,516)] 16,38}{1 \cdot 0,04^2} = 44,89 \text{ МПа.} \quad (4.82)$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання виконується:

$$\theta = \frac{\sigma_{\kappa}}{E} \frac{D}{h_{\phi}} < [\theta], \quad (4.83)$$

$$\theta = \frac{44,89}{2 \cdot 10^5} \frac{1}{0,04} = 0,0012 \text{ рад} < 0,013 \text{ рад}, \quad (4.84)$$

де θ - кут повороту фланця;

$[\theta] = 0,013 \text{ рад}$ - допустимий кут повороту плоского фланця.

4.6. Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації

4.6.1. Компонівка та монтаж

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апаратів на металоконострукції, установці і приєднанні допоміжного устаткування, приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу продуктів, установці приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються й усуваються дефекти конострукції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації [41].

Проектом виробництва монтажних-складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій зборки [41]:

- установка копуса апарата на металоконострукцію;
- установка елементів, що знаходяться усередині апарата;
- припасування і приєднання всіх трубопроводів;
- установка арматури і контрольно-вимірювальних приладів;

- герметизація місць з'єднання апарата (кришок, фланців і т.д.);
- приєднання допоміжних механізмів і пристроїв;
- установка огорожень;
- випробування апарата на герметичність і здача інженеру Держтехнагляду;
- пробна експлуатація установка;
- проведення теплоізоляційних робіт (якщо потрібно);
- здача установки в експлуатацію.

4.6.2. Випробування

Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарат має неодмінно пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та перевіркою стану всіх частин та вузлів апарата.

При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури, приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань [41].

Підготовка апарата до експлуатації включає перевірку витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск всередині апарата та в трубопроводі. При цьому слід звернути увагу на легкість та надійність управління технологічним процесом.

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажною організацією та замовника [41].

4.6.3. Вимоги до експлуатації апарату

Для дотримання правильного експлуатаційного режиму установки необхідні [41]:

- справність і безперебійність роботи устаткування;
- високий рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- забезпечення необхідними видами енергії і раціональна її витрата.

Для безперебійної роботи устаткування необхідний [41]:

- достатній резерв основного і допоміжного устаткування і дотримання правил технічної експлуатації;
- своєчасне виконання планово-попереджувальних ремонтів устаткування і наявність запасних частин для вузлів і деталей, які швидко зношуються.

4.7. Висновки

1. Проведено конструктивний розрахунок апарата, визначені основні габаритні розміри, площа поверхні завантаження, яка становить 52800 м^2 та числа секцій завантаження біореактора з іммобілізованою мікрофлорою для очищення стічної води.

2. Проведений розрахунок матеріального балансу. Визначений об'єм біогазу, що утворився в результаті очищення стічної води.

3. Проведено тепловий розрахунок біореактора, визначені теплове навантаження теплообмінних пристроїв та поверхня теплообміну, що становить 75 м^2 .

4. Проведений розрахунок на міцність фланцевого з'єднання.

5. Надано рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації

6. Проведені розрахунки підтверджують працездатність та надійність конструкції біореактора.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Резюме

Інтенсивний розвиток багатьох підприємств України практично всіх галузей агропромислових комплексів спиртової, цукрової, коньячної, ромової, виноробної, пивоварної, сироварної, молочної, м'ясної, переробці фруктів, овочів, а також тваринницьких ферм, виробництва білка з кормових трав, мікробіологічної, хіміко-фармацевтичної та деяких виробництв хімічної промисловості призводить до збільшення забруднень стічними водами природніх водойм, що веде до екологічної катастрофи. Розгляд даного питання виявив багато проблем, в тому числі і проблему очищення стічних вод. Вирішувати її за звичним шляхом, тобто прокладати багатокілометрові каналізаційні колектори до всіх підприємств дуже не рентабельно. Часто цей шлях приносить прямо протилежний результат через велику кількість витоків стічних вод в ґрунти (в результаті біокорозії матеріалу каналізаційних труб, зрушень ґрунтів і т.д.) і витоків біогазу в атмосферу. До всього цього потрібно враховувати швидке збільшення популяції бактерій і паразитів в каналізаційних колекторах різного роду, де для них створюються умови для розмноження.

Біологічне очищення – метод очищення стічних вод від органічних і деяких неорганічних домішок, що здійснюється спільнотою мікроорганізмів (біоценозом), яка включає велику кількість різних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів – водоростей, грибків тощо, пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіоз, симбіоз і антагонізм). Під дією мікроорганізмів можуть відбуватись окислювальний (аеробний) чи відновлювальний (анаеробний) процеси.

Перевагою анаеробного біологічного очищення стічних вод є висока швидкість і використання речовин в низьких концентраціях, а також відносно незначне утворення мікробної біомаси. Незважаючи на численність запропонованих апаратів для систем очищення води до останнього часу не має досконалих конструкцій анаеробних біофільтрів, які в повній мірі задовольняли

б потребам виробництва. Використання анаеробних біофільтрів в системах очищення стічної води обмежене відсутністю науково-обґрунтованих методів їх проектування, які враховують гідродинамічні, тепло- і масообмінні процеси, що протікають в біореакторі. Для визначення шляхів підвищення ефективності біофільтрів в роботі проводиться дослідження гідродинамічних та масообмінних процесів, що відбуваються при очищенні промислової стічної води.

Метою наукової розробки є зниження собівартості за рахунок зменшення габаритних розмір апарату та збільшення поверхні завантаження при збільшеній продуктивності очистки стічних вод.

Тема – Модернізація анаеробного біофільтра.

Назва – Анаеробний біофільтр.

Суб'єкт замовлення – юридична, фізична особа або фізична особа підприємств.

Об'єкт дослідження – інноваційна продукція (удосконалена конструкція анаеробного біофільтру).

Місце розробки в інноваційному ланцюжку цінності – ідея розвитку.

Таблиця 5.1 - Техніко-економічні показники

Параметр	Значення
Об'єм, м ³	923
Робочий тиск, МПа	0,1
Температура, °C	середовища – 37 теплоносія на вході – 95 теплоносія на виході – 85
Поверхня теплообміну, м ²	45,3
Поверхня завантаження, м ²	52 800
Габаритні розміри, мм	довжина 22770 ширина 5780

	висота 12000
--	--------------

Продукт – отримання більшої кількості вихідного продукту за рахунок інтенсифікації процесу зброджування спричиненого новою конструкцією біофільтру.

Технологія – конструкція секції анаеробного біофільтру для біологічної очистки стічних вод анаеробним методом.

Підприємство буде використовувати загальну систему оподаткування з ставкою 18% від прибутку. Очікувана рентабельність - 30 %.

Таблиця 5.2

Види цінності ІП	Характеристика зони цінності	Кінцева цінність для споживача
Цінність володіння	Придбання ІП, що має переваги перед традиційними продуктами (плитами)	Можливість мати ІП з новими поліпшеними характеристиками (підвищення продуктивності виробництва)
Цінність місця	Зручність і близькість до споживача	Можливість придбання продукту в зручному
Цінність якості	Відмінне виконання ІП свого призначення	Можливість отримання ІП вищої якості

Достатність сировинної бази – для виготовлення анаеробного біофільтру використовується сталь 16ГС ГОСТ 19281- 89 (діапазон цін 20-33 грн/кг: середня ціна за 1 кілограм 26 грн). Вона є конструкційною низколегованою сталлю для зварних конструкцій, яка не вступає в реакцію з стічною водою, що очищається. Сталь 16ГС ГОСТ 19281- 89 виготовляється в достатній кількості і постійно присутня на ринку. Також має ряд аналогів як в Україні та і в країнах Європи (17ГС, 15ГС, 20Г2С, 20ГС, 18Г2С).

Ринок збуту – виробники біореакторів.

Конкурентні переваги – запропонована конструкція дозволяє збільшити темпи очистки стічних вод та гарантує високу якість води очищеної та високу продуктивність апарату, а також дозволяє використати біогаз, як додаткове джерело енергії.

5.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства

Промислове підприємство в процесі свого функціонування і розвитку як відкрита система постійно відчуває вплив зовнішнього середовища. Результати і ефективність діяльності підприємства в значній мірі визначаються його зовнішнім середовищем [51-52].

До зовнішніх факторів відносяться: географія, демографія, політика, економіка, культура та науково-технічний прогрес (НТП).

Всі ці фактори і їх вплив на підприємство розглянуто в таблиці 3.

Таблиця 5.3 - Зовнішнє середовище

Можливості	Загрози
Географія	
Розташування в столиці – більше розповсюдження інформації про підприємство серед потенціальних покупців	Вища заробітна плата у столиці
Виробництво позитивно впливає на обсяги продажу вітчизняної сировини	Конкуренція з країнами-сусідами
Поряд з м. Києвом знаходиться багато міст/сіл/сmt, жителі яких зацікавлені в роботі в столиці	Виробництво витрачає електроенергію, що має негативний вплив на екологію.
Демографія	
Створення нових робочих місць	Консерватизм і настороженість до нових розробок
Збільшення рівня освіти, шляхом залучення студентів 4 і 5 курсів і набуття ними додаткових теоретичних та практичних знань	Зменшення народжуваності спричиняє зменшення кваліфікованих працівників
Політика	
Можливість виходу на світовий ринок	Політична нестабільність
Зацікавленість держави у розвитку промисловості	Складності при отримання необхідних сертифікатів на виготовлення обладнання.
Залучення зарубіжного капіталу при продажу обладнання закордон	Складності при продажі обладнання закордон
Економіка	

Нижча вартість вітчизняного обладнання	Фінансова неготовність потенційних покупців
Економія на транспортування в межах країни	Високий рівень інфляції
НТП	
Високо-кваліфіковані професіонали	Низький рівень науково-технічного прогресу в Україні
Заохочення наукових розробок провідними фірмами галузі	Низька матеріальна база освіти

Внутрішнє середовище підприємства визначає технічні та організаційні умови роботи підприємства і є результатом управлінських рішень. Метою аналізу внутрішнього середовища підприємства є виявлення слабких і сильних сторін його діяльності, так як, щоб скористатися зовнішніми можливостями, підприємство повинно мати певний внутрішній потенціал. Одночасно треба знати і слабкі місця, які можуть погіршити зовнішню загрозу і небезпеку. До факторів внутрішнього середовища належать постачальники, виробництво, конкуренти, посередники, споживачі (табл. 5.4) [51-52].

Таблиця 5.4 - Внутрішнє середовище

Переваги	Недоліки
Постачальник	
Велика кількість постачальників сировини	Підвищення ціни на сировину
Виробництво	
Виробництво додаткового джерела енергії – у вигляді біогазу	Високо-кваліфікований персонал
Повторне використання очищеної води	Ремонт та оновлення основних фондів
Конкуренти	
Конкурентоспроможність за рахунок нового технічного рішення	Недовіра до інновації
НТП в біотехнологічній галузі	Світова конкуренція з іншими

	країнами
Споживачі	
Широкий ринок збуту	Витрати на промоуцію
Посередники	
Промоуція через посередників	Посередники збільшую ціну продукції
Поширення як готового продукту так і сировини	Змінність посередників

Отже, провівши аналіз зовнішнього і внутрішнього середовища виявлені слабкі і сильні сторони підприємства. Аналіз показує в якому напрямку треба рухатися для успішного управління підприємством. При правильній організації функціонування підприємства необхідно спиратися на позитивні фактори і намагатися мінімізувати вплив негативних.

5.3. Аналіз потенційного ринку збуту

Для аналізу конкурентного середовища за методом квадрату Бове обрано наступні підприємства-конкуренти:

1. ТОВ "Kreatyv-Ahromash" (Київ)
2. ТОВ Stellar (Київ)
3. ТОВ КРАПТ (Коростень)
4. Інноваційна розробка (Київ)

Таблиця 5.5 - Квадрат Бове

Kreatyv-Ahromash	Stellar
<i>Інноваційна розробка</i>	КРАПТ

За методом квадрату Бове Інноваційна розробка належить до зони “Готові обійти”, тому що розробка може конкурувати з лідерами на ринку.

5.4. Місце розробки у системі цінностей підприємства за методом Бостонської матриці

Таблиця 5.6 - Метод БКГ

№	Підприємство	бсяг реалізації, грн	бсяг прибутку, грн
1	Kreatyv-Ahromash	14 000 000	7 000 000
2	Stellar	10 000 000	4 500 000
3	КРАПТ	6 700 000	4 100 000
4	Інноваційна розробка	10 000 000	4 000 000
Разом		40 700 000	16 600 000

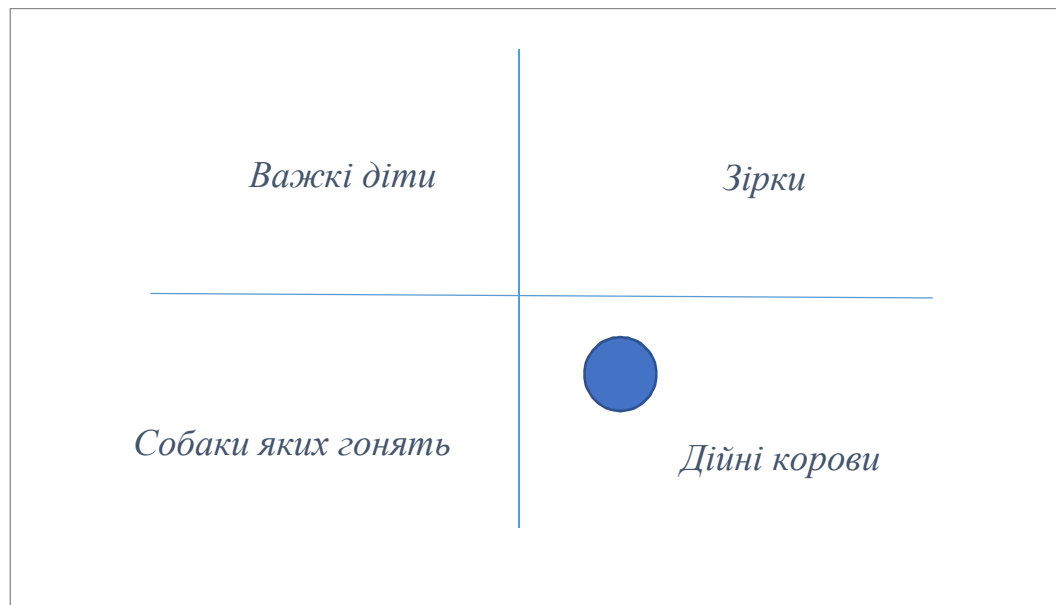


Рис. 5.1 - Бостонська матриця

Отже, за результатом аналізу за методом БКГ можна зробити висновок, що *Інноваційна розробка* знаходить в зоні “Дійні корови”. Підприємство знаходиться на зростаючому ринку, але вимагає інвестиційних вкладень.

5.5. Методом Шонфільда визначити ключові фактори успіху проекту

A – Kreatyv-Ahromash

B – Stellar

C – КРАПТ

D – Інноваційна розробка

Таблиця 5.7 - Методом Шонфільда

Характеристика	Коеф. вагомості	Конкурент/оцінка			
		A	B	C	D
Поверхня навантаження (ПН)	0,4	5	4	4	5
Ціна (Ц)	0,2	4	4	4	5
Робочий тиск (РТ)	0,1	4	4	3	5
Габаритні розміри (ГР)	0,1	5	4	4	5
Діапазон робочих температур (ДРТ)	0,2	4	5	4	5

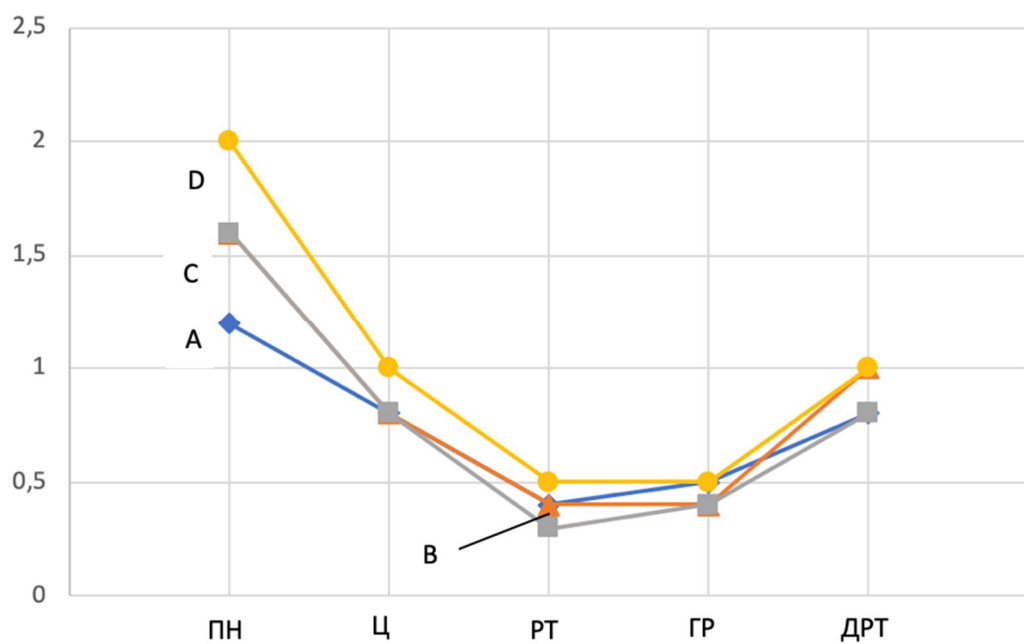


Рис. 5.3 - Діаграма Шонфільда

5.6. Анкета для споживачів

Анкета – інструмент для збору даних з метою підтвердження певної інформації. Анкетування використовується для забезпечення багатофакторності, швидкості отримання результатів і ефективного використання коштів [51-52].

Мета проведення анкетування:

1. Виявити споживчі переваги і фактори прийняття рішень.
2. Визначити відношення споживачів до інноваційного продукту.
3. Використовуючи зібрані данні створити план заходів для задоволення потреб споживачів.

АНКЕТА

<p>1. Чи готові Ви придбати інноваційне обладнання з відмінними показниками якості?</p> <p><input type="checkbox"/> Так</p> <p><input type="checkbox"/> Ні</p> <p>2. Чи готові Ви придбати обладнання у підприємства, яке щойно вийшло на ринок або віддає перевагу лідерам галузі?</p> <p><input type="checkbox"/> Готовий (-а)</p> <p><input type="checkbox"/> Не готовий (-а)</p> <p>3. Відмітьте, будь ласка, які фактори мають ключове значення для Вашого підприємства.</p> <p><input type="checkbox"/> Продуктивність</p> <p><input type="checkbox"/> Ціна</p> <p><input type="checkbox"/> Інноваційність продукту</p> <p><input type="checkbox"/> Перевіреність виробника</p> <p><input type="checkbox"/> Ваш варіант _____</p> <p>4. Звідки Ви найчастіше отримуєте інформацію про обладнання та новинки на ринку?</p> <p><input type="checkbox"/> Інтернет</p> <p><input type="checkbox"/> Каталоги товарів</p> <p><input type="checkbox"/> Виставки або конференції</p> <p><input type="checkbox"/> Ваш варіант _____</p> <p>5. Наскільки важливо для Вас бути лідером у своїй галузі,</p>
--

використовуючи інноваційне обладнання?

- ☐ *Важливо*
- ☐ *Не важливо*

5.7. Договір на виконання НДР

ДОГОВІР № _____

на виконання науково-дослідних робіт

Київ

“ ”

20__ р.

«Інноваційна розробка», в особі директора Остапенко Наталії Володимирівни, діючого на підставі Статуту, далі – **Виконавець** і **Замовник**:

_____, в особі _____ діючого на підставі _____

_____, уклали договір про наступне.

1. Предмет договору

1.1. Замовник доручає, а Виконавець бере на себе зобов’язання провести за завданням Замовника наукові дослідження:

найменування наукової теми

а Замовник зобов’язується прийняти виконану роботу та оплатити її.

1.2. Наукові, технічні, економічні та інші вимоги до наукової продукції, що є предметом договору, визначаються Технічним завданням, яке є невід’ємною частиною цього договору

1.3. Термін здачі робіт за договором «_____» _____ 20__ р.

1.4. Зміст, терміни виконання основних етапів визначаються Календарним планом, що є невід’ємною частиною цього договору.

1.5. Прийняття та оцінка наукової продукції здійснюються відповідно Технічному завданню .

1.6. Виконані за договором наукові дослідження є власністю Замовника з урахуванням того, що права винахідника охороняються патентним законодавством, а права автора – авторським правом. При використанні інших додаткових джерел фінансування право сторін на створену продукцію погоджується сторонами в додатковій угоді.

1.7. Виконавець може використовувати результати теми для власних потреб з науковою метою, а для отримання прибутку лише за умов, визначених додатковою угодою.

2. Вартість робіт та порядок розрахунків

2.1. Вартість наукової роботи визначається календарним планом та складає

_____ тис. грн. _____ в т.ч. ПДВ

сума в гривнях прописом

відповідно до Протоколу узгодження вартості науково-технічної роботи.

Без ПДВ (згідно із ст. 197.1.22. Податкового Кодексу України).

Планова калькуляція кошторисної вартості робіт та розрахунки витрат за статтями наведені у Додатку.

2.2. Оплата за кожний етап проводиться у такі терміни:

а) у строк до 10 календарних днів Замовник оплачує Виконавцю 50% від загальної суми етапу.

б) 50% від загальної суми цього етапу перераховується Виконавцю Замовником у строк до 3 банківських днів після підписання акту прийому-передачі.

2.3. Остаточний розрахунок за кожним етапом здійснюється після здачі роботи за актом прийому-передачі в термін 3 банківських днів зі дня його підписання.

3. Порядок та строки здавання і приймання робіт

3.1. Перелік наукової, технічної та іншої документації, що підлягає оформленню та здаванню Виконавцем Замовнику на окремих етапах виконання і по закінченню договору, визначається технічним завданням, що є частиною договору (додаток).

3.2. Виконання проміжних етапів оформлюється Виконавцем актами здачі-приймання, які направляються Замовнику відповідно до календарного плану.

3.3. При завершенні робіт Виконавець подає Замовнику акт здачі-приймання наукової продукції з додаванням до нього комплекту наукової, технічної та іншої документації, передбаченої технічним завданням та умовами договору.

3.4. Замовник протягом 5 робочих днів з дня отримання акту здачі-приймання робіт та звітних документів, зазначених у п. 3.3 цього договору, зобов'язаний надіслати Виконавцю підписаний акт здачі-приймання наукової продукції або мотивовану відмову від приймання робіт.

3.6. У разі дострокового виконання робіт Замовник має право достроково прийняти та оплатити їх за ціною, що вказана в договорі.

3.7. Якщо в процесі виконання роботи з'ясовується недоцільність подальшого її проведення, Виконавець повинен призупинити роботу та повідомити про це Замовника протягом 5 робочих днів після її призупинення. Після повідомлення сторони повинні протягом 10 днів розглянути питання про доцільність продовження роботи. Відповідне рішення оформлюється Протоколом сторін.

4. Відповідальність сторін

4.1. За невиконання або неналежне виконання зобов'язань за цим договором Виконавець та Замовник несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.2. В разі виникнення форс-мажорних обставин Замовник зобов'язаний надіслати письмове повідомлення виконавцю не пізніше 15 днів з моменту їх виникнення.

4.3. Науково-дослідна робота виконується за відкритим планом, без обмежуючих грифів.

4.4. Якщо відповідний спір не можливо вирішити шляхом переговорів, він вирішується у Господарському суді Київської області.

5. Інші умови

5.1. За згодою сторін зміст пунктів технічного завдання, термін дії Договору або етапів Календарного плану, а також вартість робіт за договором (в тому числі при несвоєчасному отриманні Виконавцем фінансування на виконання цієї роботи) можуть бути змінені в процесі виконання роботи, що оформлюється додатковою угодою, яка є невід'ємною частиною Договору. Внесення змін до калькуляції кошторисної вартості проводиться за 30 днів до початку наступного етапу на підставі додаткової угоди до цього Договору.

5.2. Інші умови за розсудом сторін

6. Термін дії договору та юридичні адреси сторін

6.1. Договір набирає чинності з моменту підписання і діє до «___» _____ 20__р.

6.2. Юридичні адреси і банківські реквізити.

5.8. Оцінка ринкових пропозицій інноваційної розробки

5.8.1. Джерела фінансування науково-дослідної розробки (НДР)

Таблиця 5.8 - Джерела фінансування НДР

№ з/п	Джерело фінансування	Пріоритет
1.	Система грантів за підтримкою Державного фонду фундаментальних досліджень (напрямок - наукові основи перспективних технологій)	1

2.	Державні фонди спеціального призначення	2
3.	Держбюджет	3
4.	Приватні підприємства	4
5.	Власні кошти	5

5.8.2. Калькуляція собівартості

Складемо калькуляцію на готову продукцію підприємства. Собівартість одиниці продукції розраховується за наступною формулою [51-52]:

$$C = B_{\text{пост}} + B_{\text{зм}} \cdot Q \quad (5.1)$$

Постійні витрати можна підприємства можна представити у вигляді наступної таблиці:

Таблиця 5.9 - Постійні витрати підприємства

Обладнання	Кількість	Початкова вартість	Амортизаційні відрахування	
			Норма амортизації, %	Сума, грн./рік
Основне і додаткове обладнання	1	4 500 000	10	450 000
Будівлі	1	1 000 000	5	50 000
Транспорт	1	200 000	20	40 000
Нематеріальні активи	-	50 000	20	10 000
<i>ВСЬОГО</i>			550 000	

Змінні витрати включають в себе затрати на складальні одиниці і матеріали, електроенергію, заробітну плату персоналу.

Складальні одиниці:

- корпус вхідної секції, 1 шт;
- секція завантаження, 4 шт;
- перетинка верхня, 3 шт;
- перетинка нижня, 3 шт;

- теплообмінний елемент, 4 шт;
- корпус проміжної секції, 2 шт.
- корпус вихідної секції, 1шт;
- газовіддільник, 4шт;
- опора, 1шт.

Ціна складальних одиниць [51-52]:

$$T = 50000 + 40000 + 12000 + 12000 + 24000 + 1000 + 50000 + 48000 + 30000 = 336000 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Ціна складальних одиниць за рік становить [51-52]:

$$T_p = T \cdot B_n = 336000 \cdot 70 = 23520000 \text{ грн} \quad (5.3)$$

де B_n - річний випуск продукції, од/рік.

Матеріали: вартість упаковки на одиницю готової продукції – 5 000 грн, на рік – 350 000 грн.

Витрати на електроенергію:

- ціна електроенергії – 2,52 грн/кВт·год (оскільки тариф становить 168коп/кВт·год, а коефіцієнт використання електроенергії удень (з 7.00 до 23.00) становить 1,5);

- за 1 добу роботи підприємства використовується 180 кВт енергії;

- за рік роботи підприємства використовується 45 180 кВт енергії (з урахуванням незначних витрат електроенергії в неробочі дні);

- витрати на електроенергію за рік роботи підприємства 113 854 грн.

Відповідно до розрахованих даних калькуляція собівартості річного випуску анаеробного біофільтру матиме наступний вигляд:

Таблиця 5.10 - Калькуляція собівартості річного випуску біофільтру

№ з/п	Елементи	Затрати на річний випуск, грн./рік
1	Амортизація	550 000
2	Складальні одиниці	23 520 000
3	Матеріали	350 000

4	ФОП	5 500 248
5	Електроенергія	113 854
6	Інше	57 700
Всього		25 141 802

5.9. Методи ціноутворення

Вихідні дані:

В – Вартість основних фондів 5 750 000 грн,

П – Період експлуатації 10 років,

С – собівартість одиниці товару 336 000 грн,

Пр – величина прибутку, яку бажає отримати підприємство від реалізації одиниці товару 100 800 грн.

5.9.1. Витратний метод

Ціна розраховується, виходячи із суми постійних і змінних витрат на одиницю продукції й запланованого прибутку з урахуванням нижнього порогу ціни.

Ціна продукції на ринку [51-52]:

$$Ц = C + Пр = 336000 + 100800 = 436800 \text{ грн} \quad (5.4)$$

5.9.2 Параметричний метод

Корисність продукції параметричного ряду виражають чітко визначені кількісні параметри якості. Параметричні методи ціноутворення базуються на визначенні кількісної залежності між цінами і основними споживчими властивостями товару, що входить в параметричний ряд.

Питома ціна одиниці виробу $Ц_{\text{пит}}$ [51-52]:

$$Ц_{\text{пит}} = \frac{Ц_{\bar{o}}}{X_{\bar{o}}} = \frac{436800}{1} = 436800 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Питома собівартість одиниці виробу [51-52]:

$$C_{\text{нм}} = \frac{C_{\text{б}}}{X_{\text{б}}} = 336000 \text{ грн} \quad (5.6)$$

де $C_{\text{б}}$ – ціна базового виробу,

$C_{\text{б}}$ – собівартість базового виробу,

$X_{\text{б}}$ – значення основного параметра базового виробу у відповідних одиницях (вихід продукту умовно приймаємо рівним 1).

Визначення ціни нового виробу [51-52]:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{нм}} \cdot X_{\text{н}} + H = 436800 \cdot 1,1 + 10000 = 489600 \text{ грн} \quad (5.7)$$

де $X_{\text{н}}$ – кількісне значення головного параметра нового виробу,

H – надбавки/знижки, які відображують зміни інших споживчих характеристик нового виробу 10000 грн.

5.9.3. Конкурентний метод

Нові продукти ціна встановлюється, виходячи з її верхньої і нижньої межі.

Верхня межа ціни ($C_{\text{верх}}$) встановлюється з тих міркувань, що споживачу придбання нового товару вигідніше, ніж придбання аналога, що випускається на ринку [51-52]:

$$C_{\text{верх}} = C_{\text{а}} + E_{\text{с}} = 4368000 + 60000 = 496800 \text{ грн} \quad (5.7)$$

де $C_{\text{а}}$ - ціна найближчого аналога нового товару;

$E_{\text{с}}$ - споживчий ефект.

Нижня межа ціни ($C_{\text{ниж}}$) визначається інтересами виробника і обчислюється за базисом ціни, тобто включає сукупні виробничі витрати на виготовлення продукції, плановий прибуток за встановленим рівнем рентабельності та податок на додану вартість, її можна розрахувати [51-52]:

$$C_{\text{ниж}} = C + E_{\text{вир}} = C + \Pi + \text{ПДВ} = 4368000 + 70600 = 507400 \text{ грн} \quad (5.8)$$

де $E_{\text{вир}}$ - ефект від виготовлення продукції (ефект виробника).

5.9.4. Метод точки беззбитковості

Виражаємо точку беззбитковості [51-52]:

$$Ц_{од} = \frac{B_{пост}}{n} + B_{зм} = \frac{550000}{70} + 463854 = 471711,2 \text{ грн} \quad (5.9)$$

$B_{пост}$ – постійні витрати;

$B_{зм}$ – змінні витрати;

n – кількість одиниць продукції.

5.10. Оцінка ризиків та страхування розробки

Таблиця 5.11 - Оцінка ризиків та страхування розробки [51-52]

№ п/п	Ризик	Ймовірність настання	Вплив на результат
1	відсутність або недостатність коштів для самофінансування	висока	зупинка процесу впровадження
2	відсутність реального джерела зовнішнього інвестування	середня	зменшення прибутку
3	втрата джерела фінансування проекту в процесі його реалізації	середня	зменшення прибутку
4	невідповідність цін, передбачених бізнес-планом, та реальних ринкових цін	низька	зменшення/збільшення прибутку
5	недостатнє ресурсне забезпечення виробництва	низька	зменшення прибутку
6	помилковий вибір цільового сегмента ринку, стратегії продажу продукту	середня	вилучення продукту
7	неефективна реклама	низька	зменшення прибутку
8	недостатньо налагоджена система	середня	зменшення прибутку

	взаємодії з партнерами та контрагентами		
9	створення продуктів-замінників	висока	зменшення вартості продукції
10	низький рівень патентного захисту	середня	втрата інтелектуальної власності
11	низький рівень збереження комерційних таємниць	середня	втрата інтелектуальної власності
12	непередбачене збільшення ринкових цін на ресурси	висока	зменшення прибутку
13	витрати на непередбачені бізнес-планом заходи	низька	зменшення прибутку
14	виплати за термінові роботи	низька	зменшення прибутку
15	штрафні санкції, арбітражні виплати	середня	зменшення прибутку
16	недосягнення бажаних економічних результатів у процесі розробки та впровадження інновацій	висока	зменшення прибутку
17	перевищення кошторису витрат у процесі досліджень	середня	зменшення прибутку
18	недосягнення прогнозних технічних параметрів у процесі проведення науково-дослідних і технологічних розробок	низька	витрати на проведення додаткових експериментів
19	виникнення небажаних економічних наслідків у процесі реалізації інноваційних проектів	середня	зменшення прибутку
20	виникнення нових конкурентів	середня	витіснення з ринку

Методи страхування

1. "Покриття витрат, пов'язаних із порушенням патентних прав". Цей договір компенсує страхувальникові судові витрати по переслідуванню особи, яка порушила його виключні права на об'єкти, тобто [51-52]:

- витрати щодо пред'явлення позову;
- витрати у разі пред'явлення зустрічного позову і звинувачення в недійсності патенту;
- витрати на експертизу патенту;
- витрати на повтор патенту для підкріплення позову.

2. "Покриття витрат на захист патентних прав". Цей договір захищає страхувальника у разі пред'явлення йому заяви про порушення виключних прав на об'єкти ІВ третіх осіб і покриває витрати по захисту в суді, а також витрати по виконанню судового рішення або відступні при досудовому врегулюванні претензій.

5.11. Висновки

Проаналізувавши розраховані техніко-економічні показники для проектного підприємства можна зробити висновок про те, що провадження нової бізнес-ідеї позитивно відображається на ключових показниках за рахунок того що зменшується собівартість готової продукції.

ВИСНОВКИ

1. В сучасній практиці біологічного очищення води використовують аеробні та анаеробні процеси і обладнання для їх здійснення. Анаеробна деградація забруднень має ряд переваг: менший об'єм надлишкового мулу, менші габаритні розміри очисних споруд, виробництво біогазу.

2. Аналіз літературних джерел свідчить про перспективність застосування біореакторів з іммобілізованою мікрофлорою, в яких в якості носія використовують площинне завантаження. Такі апарати компактні, дозволяють збільшити площу і час контакту біомаси та субстрату не зменшуючи продуктивність установки, вони прості в конструкції і регулюванні.

3. Для встановити умов досягнення найвищого можливого ступеня деградації субстрату при максимальному виході біогазу в процесі метанового зброджування проведене теоретичне дослідження кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води в анаеробних біореакторів з площинним завантаженням.

4. Розроблена математичну модель, що описує кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води в анаеробних біореакторах з площинним завантаженням. На основі математичного моделювання встановити кінетичні залежності, що описують процес очищення води в анаеробних біореакторах і проведене числове дослідження кінетики процесу деградації органічних забруднень при очищенні води в анаеробних біореакторах.

5. Створена ком'ютерна модель анаеробного біореактора з іммобілізованою мікрофлорою. Виконане комп'ютерне дослідження характеристик міцності та стійкості окремих елементів конструкції біореактора.

6. Проведені розрахунки теплового та матеріального балансу, конструктивний розрахунок біореактора, визначено основні габаритні розміри та максимальні напруження в апараті.

7. З розрахунків стартап-проекту очевидно, що впровадження нової бізнес-ідеї позитивно вплине на розвитку галузі біологічного очищення промислової стічної води за рахунок зменшення собівартості біореактора з іммобілізованою мікрофлорою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мисак Й.С. Огляд технології анаеробного перероблення органічних відходів. [Текст] / Й. С. Мисак, Я. М. Гнатишин, Т.Б. Шумський // Проблеми економії енергії: Зб. матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф., Львів, 8-12 жовтня 2003р. –2003. – с. 188-189.
2. Хенце М. Очистка сточных вод [Текст] / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Ясен, Э. Арван. – М.: Мир, 2009. – 480 с.
3. Калюжный, С.В. Высокоинтенсивные анаэробные технологии очистки промышленных сточных вод. [Текст] / С.В. Калюжный // Катализ в промышленности. – 2004. – № 6. – С. 42-50.
4. Семененко, И. В. Проектирование биогазовых установок. [Текст] / И. В. Семененко. – Сумы. ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 347с.
5. Зінченко В.О. Методи отримання біогазу [Текст] / В.О. Зінченко, В.П. Кусайло // Вісник ДАУ №2 – Житомир: Національний агроекологічний університет, 2005.– 100с.
6. Ружинська Л.І. Аналітичний огляд методів очищення стічних вод в анаеробних фільтрах [Текст] / Л.І. Ружинська, І.Г. Баранова // - Коммунальное хозяйство городов. Серия Технические науки и архитектура -2009-Выпуск №86.
7. Ружинська Л.І. Дослідження процесів очищення стічних вод в анаеробних біореакторах. [Текст] / Л.І. Ружинська, І.Г. Баранова.// Коммунальное хозяйство городов/ Серия Технические науки и архитектура.-2009-Выпуск №87.
8. Способ глубокой биологической очистки сточных вод и станция глубокой биологической очистки сточных вод. [Электронный ресурс]/ Патент SU 2225368C1 07.11.2003. Бюл. 41 - Режим доступа <https://patents.google.com/patent/RU2225368C1/ru> - Загл. с экрана

9. Анаэробный биофильтр. [Электронный ресурс] / Патент SU 1604752 07.11.90. Бюл. 41 Режим доступа [https://patents.google.com/patent/ SU 1604752https://patents.google.com/patent/RU2225368C1/ru](https://patents.google.com/patent/SU1604752https://patents.google.com/patent/RU2225368C1/ru) - Загл. с экрана

10. Аппарат для биохимической переработки жидких и полужидких органических субстратов. [Электронный ресурс] / Патент RU 2505488 C2 27.01.14. Бюл. №3. Режим доступа [https://patents.google.com/patent/RU2505488 C2](https://patents.google.com/patent/RU2505488C2) - Загл. с экрана

11. Устройство для анаэробной и аэробной обработки концентрированных органических жидкостей. [Электронный ресурс] / Патент RU 2533801 C1 20.01.14. Бюл. №32. Режим доступа [https://patents.google.com/patent/RU 2533801 C1](https://patents.google.com/patent/RU2533801C1)- Загл. с экрана.

12. Патент на винахід UA №94856 МПК C0 F 3/30. Спосіб біологічного очищення стічних вод. /Жукова В. С., Кузьмінський Є. В., Гвоздяк П. І., Саблій М. А. – заявник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». -Заявлено 20. 05 2010, опубліковано 10.06.2011, Бюл. №11.

13. Патент на винахід UA № 83671 МПК C02 F 3/30 Пристрій очищення стічних вод. /Михайловський В. М., Гвоздяк П. І., Михайловська М. В., Теміров У. Б. заявник Михайловський Віктор Леонідович, Гвоздяк Петро Ілліч, -Заявлено 20. 05 2010, опубліковано 14.02.2006, Бюл. №15.

14. Патент на винахід UA № 116195 МПК C02 F 3/00 Спосіб біологічного очищення стічних вод іммобілізованими мікроорганізмами. / Бляшина М. В. - заявник Національний університет водогосподарства та водокористування -Заявлено 20. 11 2016, опубліковано 10.05.2017, Бюл. №9.

15. Вейсер, Т. Практический опыт использования биологических методов очистки сточных вод, образующихся в индустрии напитков. [Текст] / Т. Вейсер, В. Хелльманн, М. Чеботаева // офіційний сайт фірми «Энви́ро-Хеми Вассер унд Абвассертехник ГмбХ». Режим доступа : \www/ URL: <http://www.enviro-chemie.ru> — 10.12.2004 г. — Загл. с экрана.

16. Гелетуха Г.Г., Кобзарь С.Г. Перспективы развития технологий получения биогаза в Украине [Текст] // Нефть и газ. – 2001. – 1/3 – С. 88–91

17. Курис, Ю.В. Особенности технологи и методы интенсификации анаэробного сбраживания [Текст] / Ю. В. Курис, С.І. Ткаченко, А.Ю. Майстренко // Наука – науково технічному прогрессу в паливно-енергетичному комплексі – 2008. – №11. – с. 35-41.

18. Титов А.И., Ютина А.С., Андреев Е.Н. К вопросу утилизации биогаза метантенков канализационных очистных сооружений городов Украины [Текст] // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК - 97». – Ялта, 1997. – С.189-191.

19. Козловская С.Б. Комплекс сооружений по получению и утилизации биогаза на очистных сооружениях канализации [Текст] // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК - 99». – Ялта, 1999. – С.106-107.

20. Абрамович И.А., Бондарь И.Л., Ютина А.С., Титов А.И. [Текст] Производство и утилизация биогаза в Украине – современное состояние и перспективы // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК – 2001». – Ялта, 2001. – С.162-164.

21. Шеіна О.О. Біохімія процесу виробництва біогазу як альтернативне джерело енергії [Текст] / О.О. Шеіна, В.О. Сисоєв // Вісник природних та технічних наук – Тамбов: Тамбовський університет, 2009.– 150с.

22. Ружинська Л.І. Огляд конструкцій анаеробних біореакторів [Текст] / Л.І. Ружинська, А.О. Фоменкова, Є.В. Морозова // Науково-технічний збірник “Комунальне господарство міст. – 2013. - № 107.

23. Ружинська Л.І. Современные представления о кинетике метаногенеза и их математическая интерпретация. [Текст] / Л.И. Ружинская, А.А. Фоменкова) // Тези доповідей VII науково-практичної конференції «Біотехнологія ХХІ» століття, присвяченої 115 річниці заснування НТТУ «КПІ» 24 квітня 2013 р. м. Київ.

24. Ружинська Л.І. Моделирование процессов переноса в анаэробном биореакторе с иммобилизованной микрофлорой. [Текст] / Л.И. Ружинская, А.А. Фоменкова) // Scientific Journal. "Science Rise" -2014- №4/2(4)
25. Ружинська Л.І. Математическое моделирование процессов анаэробного сбраживания органического субстрата. Обзор. [Текст] / Л.И. Ружинская, А.А. Фоменкова) // Scientific Journal. "Science Rise", -2014- №4/2(4)
26. Cresson, Romain. Etude du démarrage de procédés intensifs de méthanisation. Impact des conditions hydrodynamiques et de la stratégie de montée en charge sur la formation et l'activité du biofilm: дис. док. техн. наук/ Romain Cresson. – Montpellier II, 2006. – 272 с.
27. Habouzit, Frédéric. Rôle des matériaux-supports sur la mise en place du biofilm : Application au démarrage d'un procédé de méthanisation: дис. док. техн. наук/ Frédéric Habouzit. Montpellier II, 2010. – 241 с.
28. Michaud, M. Sébastien. Etude hydrodynamique et biologique d'un procédé de méthanisation à biofilm : le réacteur à lit turbulent inverse: дис. док. техн. наук/ M. Sébastien Michaud. L'institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse, 2001. – 174 с.
29. Augustin, Jean-Christophe. Modélisation de la croissance microbienne et gestion de la sécurité sanitaire des aliments : дис. док. техн. наук/ Jean-Christophe Augustin. – Paris XII Val de Marne, 2005. – 189 с.
30. Lardon, Laurent. Modélisation des biofilms de digestion anaérobie par système multi-agents: Mémoire de DAA/ Laurent Lardon. – *Montpellier: AgroTIC*, 2001. – 79с.
31. Marchaim, Uri. Les procédés de production de biogaz pour le développement de technologies. Bulletin des services agricoles de la FAO, 95. – Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. – 1994. – 223с.

32. Понтуал Л., Биогазовый потенциал сточных вод целлюлозно-бумажной фабрики. Л. Понтуал, Ф. Майер, Б.А Гилсон, Э. де Энгенхария, American Journal of Environmental Engineering -2015 5(3) . Режим доступа <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajee.20150503.01.html>- Загл. с экрана

33. Анаэробный биофильтр. [Электронный ресурс] / Сборник систем и технологий санитарии. Второе пересмотренное издание. Режим доступа <https://sswm.info/humanitarian-crises/background/anaerobic-filter>.- Загл. с экрана.

34. Ружинская Л. И. Моделирование процесса синтеза биогаза при очистке сточных вод [Текст] / Л.И. Ружинская, А.А. Фоменкова) // Научная сессия ГУАП: Сб.докл.: В 2ч. Ч2. Технические науки./СПб.:ГУАП, СПб., 2012.

35. Патент на корисну модель UA № 62712 U МПК C02 F1/52 АО K61/00 Спосіб виготовлення носія з іммобілізованими мікроорганізмами біоіндикаторами забруднення води. / Рильський О. Ф., Домбровський К. О., Підкопайло Ф. С., Дударєва Г. Ф. - заявник Запорізький національний університет міністерства освіти і науки України - Заявлено 17. 02 2011, опубліковано 12.09.2011, Бюл. №17.

36. Деклараційний патент на винахід UA № 50546 А МПК C02 F3/10 Носій для іммобілізації мікроорганізмів./ Кошель М. І., Каранов Ю. А., Добриловський Б. В., Копчик О. М. - заявник Український науково-дослідний інститут спирту і біотехнології продовольчих продуктів -Заявлено 08.02.2002, опубліковано 15.10.2002, Бюл. №10 .

37. Патент на винахід UA № 114664 C2 МПК C12 N11/04 Спосіб отримання гранульованого носія, що містить іммобілізовані мікроорганізми./ Черниш - заявник Сумський державний університет Заявлено 21.09.2015, опубліковано 10.07.2017, Бюл. №13.

38. Патент на корисну модель UA № 43876 U МПК C02 F1/04 Завантаження для анаеробного біореактора/ Ружинська Л. І., Баранова І. Г., - заявник Національний технічний університет України «Київський

політехнічний інститут» - Заявлено 23. 02 2009, опубліковано 10.09.2009, Бюл. №17.

39. Патент на корисну модель UA № 93476 U МПК C02 F11/00 Анаеробний біореактор для очищення стічної води./ Ружинська Л. І., А.А. Фоменкова А. О. - заявник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» - Заявлено 16. 12 2013, опубліковано 10.10.2014, Бюл. №19.

40. Хенце М. Очистка сточных вод [Текст] / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Ясен, Э. Арван. – М.: Мир, 2009. – 480 с.

41. Соколов В.М. Аппаратура микробиологической промышленности / В.М. Соколов, М.А. Яблокова. // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд – е. 1988. – 278 с

42. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв/ Ю. І. Сидоров, Р. Й. Влязло, В. П. Новіков // Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 240 с.

43. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты // М.: Химия, 1995. – 400 с.

44. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А.Лашинский, А. Р. Толчинский // Л.: «Машиностроение», 1970. – 752 с.

45. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов – Л.: «Машиностроение», 1981. – 382 с.

46. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Введ. 01.01.90.

47. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные. Основные размеры. – 13 с.

48. Доброногов В.Г. Алгоритм розрахунку на міцність валів механічних перемішуючих пристроїв: Методичні вказівки до застосування обчислювальної техніки в курсі «Розрахунок та конструювання машин і апаратів хімічних виробництв» / В.Г. Доброногов, О. Г. Зубрій, Л. Г. Воронін // К: КПІ, 1990. – 39 с.

49. Доброногов В.Г. Алгоритм розрахунку на жорсткість валів з механічними перемішуючими пристроями: Методичні вказівки до застосування обчислювальної техніки в курсі «Розрахунок та конструювання машин та апаратів хімічних виробництв» / В.Г. Доброногов, О. Г. Зубрій, Л. Г. Воронін // К: КПІ, 1989. – 60 с.

50. Бельбас, І.В. Монтаж, діагностика та ремонт обладнання. Навчальний посібник [Текст] / І.В. Бельбас – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. — 248 с.

51. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

52. Наказ №245 05.09.2008 Положення про порядок організації наукових досліджень і прикладних розробок у сфері державної служби та її адаптації до стандартів Європейського Союзу

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. Патентний пошук

ДОДАТОК Б. Специфікації